ТЕОРИЯ КОНСТРУКЦИЯ И РАСЧЕТ

авто-тракторного электро-оборудования

ТЕОРИЯ, КОНСТРУКЦИЯ И РАСЧЕТ

автотракторного электрооборудования

Под редакцией М. Н. Фесенко

Допущено Управлением кадров и учебных заведений Министерства автомобильной промышленности СССР в качестве учебника для машиностроительных техникумов по специальности «Автотракторное электрооборудование»



Москва «МАШИНОСТРОЕНИЕ» 1979

ББК 39.3
Т33
УДК 629.113/.115.001.11 (075.3)

Авторы: *Л. В. Копылова, В. И. Коротков, В. Е. Красильников, Т. И. Кузнецова, А. П. Ляпков, А. Ф. Мельников, М. Н. Фесенко, Ю. П. Чижков*
Рецензенты: канд. техн. наук *Г. Я. Брайт* и инж. *В. Е. Герасимов*

Теория, конструкция и расчет автотракторного электро-
Т33 оборудования. Учебник для машиностроительных техникумов по специальности «Автотракторное электрооборудование»/Л. В. Копылова, В. И. Коротков, В. Е. Красильников; Под ред. М. Н. Фесенко и др. — М. Машиностроение, 1979. — 344 с., ил.

В пер. 1 р.

Т $\frac{31803\text{-}215}{038(01)\text{-}79}$ 215-79 3603030000

ББК 39.3
6Т2.1

ВВЕДЕНИЕ

Развитие и совершенствование автомобилестроения и тракторостроения неразрывно связано с широким применением электротехнического оборудования, автоматических устройств и систем, объединенных в единый комплекс — электрооборудование автомобилей и тракторов.

Электрооборудование современного автомобиля и трактора — сложная система, обеспечивающая автоматизацию рабочих процессов, безопасность движения и улучшение условий труда водителей. От надежности электрооборудования в большой степени зависит эффективность эксплуатации автомобилей и тракторов.

Развитие электрооборудования автомобилей и тракторов тесным образом связано с развитием общей электротехники, электроники и автоматики.

Впервые электрическая энергия применена в двигателях внутреннего сгорания в 1860 г. для воспламенения горючей смеси. Высокое напряжение для образования электрической искры между электродами свечи зажигания создавали при помощи простейшей индукционной катушки, которая получала питание от гальванических элементов. Однако из-за несовершенства последних эта система в те годы не нашла широкого практического применения.

На первом автомобиле было установлено низковольтное магнето с одним подвижным электродом. В 1901—1907 гг. разработали магнето высокого напряжения, которое представляло собой систему зажигания с магнитоэлектрическим генератором и высоковольтной индукционной катушкой.

Зажигание электрической искрой высокого напряжения вытеснило другие способы воспламенения горючей смеси и стало предпочтительным для двигателей с принудительным воспламенением.

Таким образом, практически с момента изобретения двигателя внутреннего сгорания горючая смесь в нем воспламеняется при помощи электрической искры. В дальнейшем появилось множество различных методов генерирования высокого напряжения, необходимого для пробоя искрового промежутка свечи зажигания, два из которых получили наибольшее распространение: *батарей-*

ное зажигание (на автомобилях) и *зажигание от магнето* (на тракторах, гоночных автомобилях, мотоциклах).

Автомобильный парк в 300 млн. машин выбрасывает в атмосферу 160 млн. т окиси углерода, 46 млн. т углеводорода, 8 млн. т окислов азота и тысячи тонн соединений свинца. В связи с проблемами энергетического характера и по охране окружающей среды остро встал вопрос о повышении экономичности, уменьшении токсичности отработавших газов автомобилей. Значительный вклад в решение этой проблемы вносят электронные системы зажигания. В настоящее время выпускаются контактно-транзисторные и бесконтактные системы зажигания.

Применение электрической энергии для освещения, пуска двигателя и питания различных аппаратов и приборов привело к образованию систем электропитания, пуска и освещения.

Система электропитания, обеспечивающая питание приемников электрической энергией, состоит из электрического генератора, регулятора напряжения, аккумуляторной батареи и элементов защиты. Причем аккумуляторная батарея из основного источника перешла во вспомогательный, необходимый для питания потребителей во время останова двигателя. Основным источником электрической энергии на автомобиле и тракторе является генератор постоянного или переменного тока.

Развитие генераторных установок идет по пути возрастания их мощности в связи с ростом числа и мощности потребителей электрической энергии, увеличения срока службы и повышения удельных показателей использования активных материалов.

Более 50 лет на автомобилях и тракторах в основном применялись генераторы постоянного тока. Развитие полупроводниковой техники и успехи, достигнутые в этой области, позволили использовать на автобусах, автомобилях и тракторах генераторы переменного тока с полупроводниковыми выпрямителями. Установка генераторов переменного тока со встроенными полупроводниковыми выпрямителями, регулирование напряжения полупроводниковыми регуляторами напряжения на автомобилях и тракторах являются перспективными.

В настоящее время разработана и внедрена в серийное производство широкая номенклатура полупроводниковых приборов для электрооборудования автомобилей и тракторов. Использование полупроводниковой техники приводит к уменьшению габаритных размеров и массы, повышению их надежности, а в некоторых случаях и к снижению стоимости элементов электрооборудования.

В 1925 г. на автомобилях начали устанавливать электрическую систему пуска, которая состоит из аккумуляторной батареи, электростартера и коммутационной аппаратуры. Аккумуляторная батарея стала необходимым элементом автотракторного электрооборудования.

Применение дизелей для автомобилей и тракторов потребовало значительного возрастания мощности системы пуска. В связи с этим развернулись работы по дальнейшему увеличению емкости, повышению срока службы и улучшению характеристик аккумуляторных батарей. В настоящее время мощность стартеров большегрузных автомобилей и тракторов равна 10—15 кВт, а емкость аккумуляторных батарей — 200—240 А·ч.

Система освещения автомобилей и тракторов обеспечивает безопасность движения и определенный комфорт. Увеличение автотракторного парка, а в связи с этим и рост дорожно-транспортных происшествий потребовали разработки новых систем освещения. Разработаны и внедрены четырехфарные и автоматически регулируемые системы освещения, противотуманные фары, галогенные лампы, лампы с красными линзами и т. д. В схемах освещения перспективно использование полупроводниковых светоизлучающих элементов, жидких кристаллов, световодов.

Для контроля состояния и работоспособности агрегатов и систем автомобилей и тракторов широко применяются контрольно-измерительные приборы, которые позволяют облегчить работу водителя, контролировать состояние и работоспособность агрегатов и систем, стоимость которых во много раз превышает стоимость самих приборов.

По способу отображения информации контрольно-измерительные приборы можно подразделить на две группы: указывающие и сигнализирующие. Современное развитие контрольно-измерительных приборов характеризуется тенденцией к увеличению количества сигнализирующих приборов.

Качественно новым направлением является усовершенствование техники, направленное на снижение вредного воздействия на окружающую среду, повышение безопасности движения, обеспечение оптимизации как процессов преобразования энергии в двигателях, так и режимов движения. Так, например, ведутся работы по созданию диагностической бортовой аппаратуры, которая должна непрерывно оценивать состояние водителя и автоматически принимать меры, обеспечивающие безопасность движения. Разрабатываются противоблокировочные тормозные системы для грузовых автомобилей, электронные системы устройства дозирования топлива и др.

Решение перечисленных вопросов связано с проникновением средств электроники и автоматики в процессы производства, технического обслуживания, ремонта и управления автотракторной техникой. На современных большегрузных автомобилях внедрена электрическая трансмиссия, ведутся работы по созданию электромобилей. Автомобиль и трактор недалекого будущего представляются системой, способной к автоматической адаптации относительно окружающей среды и условий эксплуатации.

Электрооборудование современного автомобиля и трактора непрестанно усложняется. Так, например, на автомобиле «Мо-

сквич-400» было установлено 29 приборов электрооборудования, а на автомобиле КамАЗ-5820 — 100. Общая длина проводки на современном автомобиле составляет 300—350 м. Электрооборудование имеет около ста разъемных электрических ссединений. Стоимость электрооборудования автомобилей и тракторов в настоящее время составляет 25% стоимости машины.

Характерной особенностью автотракторного электрооборудования является массовость производства и сравнительно высокий ресурс. Поставлена задача довести ресурс основных элементов электрооборудования до 400 тыс. км пробега машины (10 тыс. ч работы машины).

Электрооборудование современного автомобиля — это сложный комплекс, требующий квалифицированного технического обслуживания. Поэтому подготовка высококвалифицированных специалистов в этой области является необходимой для повышения качества и эффективности эксплуатации автомобилей и тракторов.

Глава 1. АВТОТРАКТОРНОЕ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ

§ 1. Типовые схемы автотракторного электрооборудования

Электрооборудование автомобиля и трактора представляет собой комплекс взаимосвязанных систем, механизмов и приборов, обеспечивающих надежную работу, безотказность движения, автоматизацию рабочих процессов машины и нормальные условия труда водителя.

Электрооборудование современного автомобиля и трактора можно подразделить на системы электропитания, электрического пуска, зажигания, освещения, контроля, комфорта и на системы, обеспечивающие безопасность движения и оптимизацию рабочих процессов.

Не все перечисленные системы окончательно сформировались. Одни достигли определенной степени совершенства, другие находятся в стадии формирования.

Отличия электрооборудования автомобиля (автобуса) и трактора состоят в степени развития перечисленных систем, в количестве входящих элементов и выполняемых ими функций.

Для изучения взаимосвязи систем, последовательности включения и работы электрооборудования автомобиля и трактора разрабатывают электрическую схему электрооборудования. Схема электрооборудования для определенного класса машин должна быть наглядной, легко читаемой и универсальной по своему исполнению. Типовыми можно считать схемы электрооборудования с генераторами постоянного тока и с генераторами переменного тока.

В автотракторном электрооборудовании обычно применяют однопроводную схему, при которой все потребители электрической энергии питаются от одного напряжения (рис. 1, *а*). При однопроводной схеме корпус машины является общим токопроводом для всего электрооборудования. Ко всем потребителям электроэнергии подходит только один провод. Второй полюс потребителей и источников соединен с массой. В отечественном электрооборудовании с массой соединен отрицательный потенциал источников электроэнергии.

Двухпроводиая схема используется лишь на отдельных участках электрической цепи, когда изделие устанавливают на деревянные или дюралюминиевые части машины.

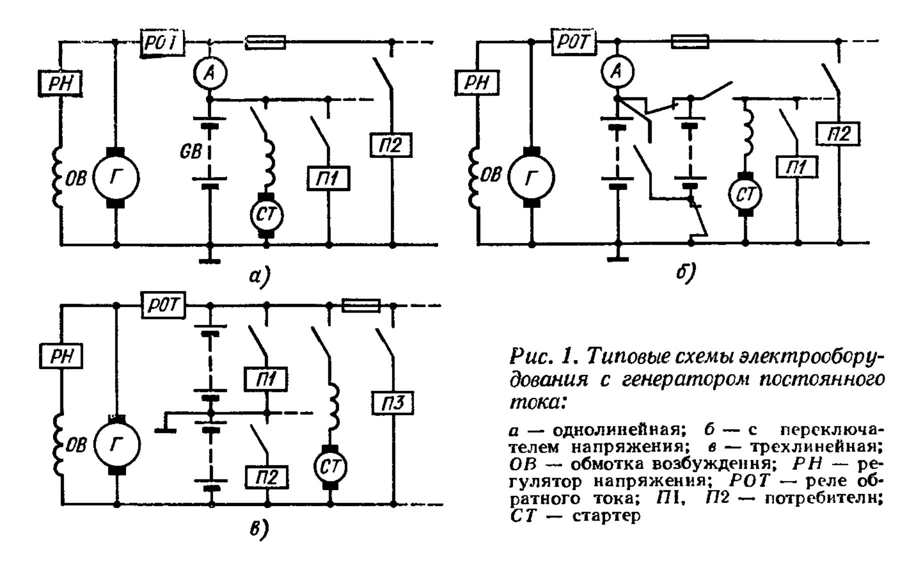


Рис. 1. Типовые схемы электрооборудования с генератором постоянного тока:

а — однолинейная; *б* — с переключателем напряжения; *в* — трехлинейная; *ОВ* — обмотка возбуждения; *РН* — регулятор напряжения; *РОТ* — реле обратного тока; *П1*, *П2* — потребители; *СТ* — стартер

Автотракторное электрооборудование состоит из истсчников электрической энергии и потребителей (*П1*, *П2*). Источниками энергии являются аккумуляторная батарея и генератор, работающие параллельно. Параллельная работа генератора с аккумуляторной батареей протекает при изменении частоты вращения якоря (ротора), нагрузки и температуры.

Для нормальной работы приемников электрической энергии необходимо, чтобы напряжение сети было постоянным. Постоянное напряжение генератора обеспечивается при помощи регулятора напряжения *РН*, включенного в обмотку возбуждения *ОВ* генератора. Для подключения генератора к сети, когда напряжение генератора превышает напряжение аккумуляторной батареи, и отключения от сети служит реле обратного тока *РОТ*.

Источники электрической энергии совместно с регулятором напряжения и реле обратного тока составляют основу системы электропитания. Для генераторов установлено номинальнсе напряжение, равное 7, 14 или 28 В. При неработающем двигателе и низких частотах вращения напряжение генератора меньше напряжения аккумуляторной батареи; в этих случаях потребители питаются от аккумуляторной батареи.

Потребителями электрической энергии являются элементы перечисленных систем электрооборудования. В зависимости от назначения потребители электрической энергии подключают или к аккумуляторной батарее *GB*, или к генератору через выключатели. Непосредственно к аккумуляторной батарее подключают стартер, прикуриватель, установку для кондиционирования воздуха, а также приборы, которые должны работать в аварийных ситуациях (аварийная сигнализация и др.). К генератору под-

ключают приборы освещения (через центральный переключатель света), а также приборы и устройства, длительно работающие при стоянке, во время движения машины.

Для потребителей электроэнергии автотракторного электрооборудования установлено номинальное напряжение 6, 12 и 24 В.

При отсутствии амперметра потребители электрической энергии подключают к линии аккумуляторная батарея — генератор. Все цепи потребителей (или группы потребителей, кроме цепей пуска и зажигания) содержат плавкие или биметаллические предохранители.

Система пуска включает электродвигатель постоянного тока, механизмы привода и управления.

Система зажигания служит для создания высокого напряжения, необходимого для электрического воспламенения топливовоздушной смеси в цилиндрах карбюраторного двигателя внутреннего сгорания. Основными элементами системы зажигания автомобиля являются катушка зажигания, преобразующая низкое напряжение аккумуляторной батареи в импульсы высокого напряжения; прерыватель-распределитель; искровые свечи зажигания.

Система освещения автомобиля предназначена для наружного и внутреннего освещения. Наружное освещение состоит из габаритных фонарей, фар и прожекторов, а внутреннее — из плафонов кабины и кузова, ламп щитка приборов, а также ламп багажника и отсека двигателя.

Для обеспечения безопасности движения автомобиля служит система, включающая звуковую и световую сигнализацию. К приборам световой сигнализации относятся фонари сигнала торможения и указатели поворота.

Для передачи водителю сигналов о работе наиболее ответственных систем и отдельных агрегатов автомобиля применяются указатели температуры охлаждающей жидкости и давления масла, амперметр контроля заряда и разряда аккумуляторной батареи, спидометр, указатель уровня топлива и др. Количество и тип устанавливаемых контрольно-измерительных приборов определяются назначением и конструкцией машины.

В настоящее время на автомобильном транспорте широкое распространение получили устройства, позволяющие управлять рабочим процессом отдельных элементов и систем автомобиля, что обеспечивает оптимальный режим работы, высокую надежность, экономичность и безопасность эксплуатации автомобилей. Электронное управление впрыском топлива и автоматическое управление частотой вращения вентилятора для регулирования теплового состояния двигателя повышают экономичность работы двигателя внутреннего сгорания. Электронное управление опережением зажигания обеспечивает необходимые характеристики автоматов опережения системы зажигания в процессе эксплуатации автомобиля, повышает экономичность и снижает токсичность

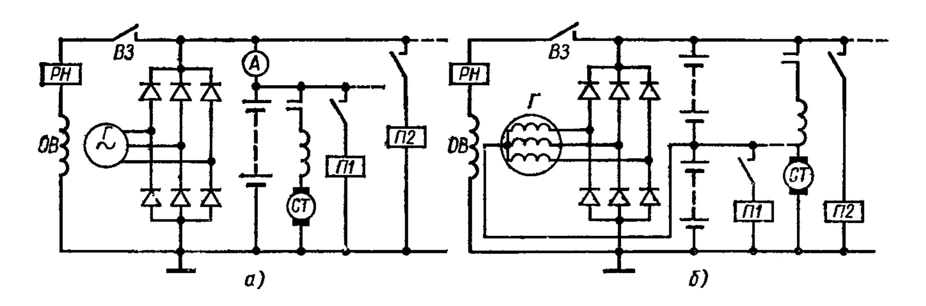


Рис. 2. Типовые схемы электрооборудования с генератором переменного тока:
а — однопроводная; *б* — трехпроводная

выхлопных газов. Электронный сигнализатор скорости движения повышает безопасность движения автомобиля.

Типовой является также схема электрооборудования с переключателем напряжения с 12 на 24 В (рис. 1,б). В этой схеме все потребители питаются напряжением 12 В, а стартер *СТ* — напряжением 24 В. При пуске двигателя две параллельно соединенные аккумуляторные батареи при помощи специального переключателя соединяются последовательно. Переключатель усложняет схему и увеличивает длину проводов цепи стартера. Однако при такой схеме обеспечивается надежный пуск двигателя.

Очень редко применяется схема с двумя выходными напряжениями (рис. 1, *в*). Это трехпроводная схема, в которой некоторые потребители питаются напряжением 24 В (стартер и др.), а другие напряжением 12 В. Две аккумуляторные батареи соединены последовательно, при этом их «средняя» точка соединена с массой. Потребители напряжения 12 В должны быть распределены равномерно на каждую аккумуляторную батарею. Более мощные потребители питаются напряжением 24 В. Они подключаются к проводам, соединяющим генератор с аккумуляторными батареями. Существенным недостатком такой схемы является неравномерность заряда и разряда аккумуляторных батарей, а также повышенный расход металла проводов.

Схемы электрооборудования с генераторами переменного тока (рис. 2) выполняют аналогично. Отличаются эти схемы тем, что не содержат реле обратного тока, поскольку его функции выполняет выпрямитель. Для защиты аккумуляторных батарей от разряда на обмотку возбуждения *ОВ* генератора регулятор напряжения *РН* подключают через выключатель зажигания *ВЗ*.

Переключение обмоток статора генератора переменного тока со звезды на треугольник или наоборот позволяет один и тот же генератор устанавливать для электрооборудования с напряжением 12 и 24 В. Более того, при соединении обмоток статора генератора в звезду и выводе нулевой точки можно получить два напряжения.

На рис. 2, *б* приведена схема электрооборудования с генератором переменного тока с двумя выходными напряжениями.

Такая схема не создает затруднений при выборе напряжения и одновременно обеспечивает питание всех потребителей электроэнергии как напряжением 12 В, так и напряжением 24 В. В отличие от схемы, изображенной на рис. 1, *в*, здесь практически исключена возможность неравномерного распределения заряда и разряда аккумуляторных батарей. В этой схеме электрооборудования регулятор напряжения можно подключать и к напряжению 12 В, и к напряжению 24 В.

В схемах электрооборудования с генераторами переменного тока взамен амперметра применяют световой сигнализатор разрядного режима аккумуляторных батарей. Световой сигнализатор выполняют в виде контрольной лампы со светофильтром красного цвета, установленной на щитке приборов. Сигнал лампы информирует водителя о том, что происходит разряд аккумуляторной батареи. Управление контрольной лампой осуществляется посредством реле, обмотка управления которого подключена либо к переменному напряжению генератора, либо между плюсовым зажимом выпрямителя и нулевой точкой.

В настоящее время на тракторах используют и комбинированные схемы электрооборудования, т. е. часть приемников электроэнергии питается постоянным, а другая — переменным током. Для обеспечения электроэнергией приемников переменного тока генератор имеет выводы трехфазного напряжения.

§ 2. Условия эксплуатации автотракторного электрооборудования

Условия работы автотракторного электрооборудования определяются прежде всего условиями эксплуатации, а также местом установки отдельных агрегатов электрооборудования. Современное автотракторное электрооборудование эксплуатируется в различных климатических зонах, определяющихся географическим районом нашей страны. Более 80% территории Советского Союза расположено в зоне холодного климата. В этой зоне эксплуатируется около 85% автомобильного транспорта.

В зависимости от климатических условий эксплуатации изделия автотракторного электрооборудования и приборы выпускаются в следующих исполнениях:

для умеренного климата (У);

для холодного климата (ХЛ);

для тропического климата (Т).

Условия эксплуатации элементов электрооборудования исполнений У, ХЛ и Т приведены в табл. 1.

Элементы электрооборудования должны сохранять работоспособность после пребывания в неработающем состоянии при температуре — 60° С для исполнения ХЛ, — 45° С для исполнений У и Т.

Таблица 1

Условия эксплуатации элементов электрооборудования

Условия окружающей среды	Исполнение		
	У	ХА	Т
Максимальная температура окружающей среды при монтаже элементов электрооборудования на двигателе и в моторном отделении, °С:			
рабочая	70	70	70
предельная	80	80	80
Максимальная температура окружающей среды при монтаже элементов электрооборудования в кабине, закрытом кузове и снаружи машины, °С:			
рабочая	55	55	55
предельная	65	65	65
Минимальная температура окружающей среды при монтаже элементов электрооборудования в кабине, закрытом кузове, снаружи машины, а также элементов электрооборудования, которые должны работать до предпускового подогрева двигателя, °С:			
рабочая	—40	—55	—20
предельная	—45	—60	—45
Минимальная температура окружающей среды при монтаже элементов электрооборудования на двигателе, в смотровом отделении, а также элементов электрооборудования, которые должны работать после предпускового подогрева двигателя, °С:			
рабочая	—40	—40	—20
предельная	—	—	—
Максимальная относительная влажность воздуха при монтаже всех видов оборудования, %:			
при температура 25° С	98	98	—
при температуре 35° С	—	—	98
Минимальное атмосферное давление при монтаже всех видов оборудования, Па	61300	61300	61300

Работа в условиях широкого диапазона изменения температуры окружающей среды предъявляет к электрооборудованию высокие требования. При низких температурах, например, снижается емкость аккумуляторных батарей и механическая прочность электрической изоляции; при высоких — надежность работы электронных систем, устанавливаемых на автомобилях, сокращается срок службы аккумуляторных батарей.

Электрооборудование во время эксплуатации подвергается воздействию вибрационных перегрузок. Например, вибрация датчиков приборов, установленных на двигателе, может достигать 10—15 дБ. Динамические перегрузки, воздействующие на элементы электрооборудования, нарушают нормальный режим их работы, снижают прочность, точность, увеличивают

износ, что может привести к их повреждению или разрушению.

Поэтому вопросы, связанные с обеспечением работоспособности электрооборудования в условиях динамических нагрузок, являются неотъемлемой составной частью проблемы повышения его надежности. Элементы автотракторного электрооборудования должны выдерживать без повреждений, поломок и нарушений рабочего процесса воздействия вибрационных и ударных нагрузок, которые указаны в табл. 2.

Таблица 2

Допустимые вибрационные нагрузки

Показатели	Элементы электрооборудования	
	устанавливаемые на двигателе	остальные
Частота вибрации, Гц	50	50
Максимальное ускорение (замедление) при нагрузках:		
вибрационных	10 g	5 g
ударных	15 g	10 g
Продолжительность испытания, ч (число ударов)	8 (10 000)	8 (10 000)

При разработке системы электрооборудования следует учитывать, что в процессе эксплуатации оборудование подвергается воздействию агрессивной среды подкапотного пространства. На элементы электрооборудования попадает грязь, масло, пыль, вода, содержащая соли, топливо. Это вызывает снижение электрической прочности, старение изоляции и коррозию металлических поверхностей элементов электрооборудования. Защита от коррозии осуществляется лакокрасочными, химическими, гальваническими покрытиями. Выбор вида защитного покрытия производят в соответствии с назначением детали, узла или изделия с учетом их конструктивных особенностей.

Условия эксплуатации автотракторного электрооборудования с защитными покрытиями приведены в табл. 3.

Изделия автотракторного электрооборудования должны быть защищены от попадания посторонних предметов, вредных отложений и воды.

Несмотря на тяжелые условия эксплуатации (широкий диапазон изменения рабочих температур, высокая степень загрязнения окружающей среды, значительные динамические нагрузки, возможность непосредственного попадания внутрь изделий масла, воды, топлива, а также переменная скорость движения автомобиля), изделия электрооборудования должны обеспечивать надежную безотказную работу в эксплуатации в течение требуемого срока службы. Статистические данные эксплуатации автомобилей

Таблица 3

Условия эксплуатации изделий автотракторного электрооборудования

Изделия электрооборудования	Условия эксплуатации		
	У	ХЛ	Т
Наружные детали изделий, монтируемые снаружи машины (соответствует эксплуатации на открытом воздухе)	Ж	Ж	ОЖ
Наружные детали изделий, монтируемые под капотом, в закрытых кабинах и кузовах (соответствует эксплуатации в помещениях без искусственно регулируемых климатических условий)	С	С	Ж
Внутренние детали изделий в зависимости от их назначения и степени защиты от проникновения посторонних тел и воды	На одну или две ступени ниже, чем для наружных деталей тех же изделий		

Примечание. Ж, С и ОЖ — соответственно жесткая, средняя и очень жесткая группа эксплуатации.

показывают, что примерно четвертая часть всех эксплуатационных неисправностей автомобилей связана с неисправностями изделий и приборов электрооборудования. Основная причина преждевременного выхода их из строя заключается прежде всего в несоблюдении правил эксплуатации и несвоевременном техническом обслуживании.

В настоящее время техническое обслуживание автомобилей подразделяется на ежедневное техническое обслуживание (ЕО), техническое обслуживание № 1 (ТО-1) и техническое обслуживание № 2 (ТО-2), выполняемые соответственно через 1000—1800 км и через 5000—9000 км пробега автомобиля.

Указанная выше классификация зависит от дорожных условий эксплуатации и подразделяется на три категории. Первая категория — это городские и загородные дороги с твердым асфальтовым или бетонным покрытием, вторая — дороги со щебеночным, булыжным или другим каменным покрытием. К третьей категории относятся неисправные дороги с твердым покрытием, а также дороги в карьерах и на строительных площадках. Объем обязательных работ, необходимых при техническом обслуживании, определяется «Положением о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта».

При ежедневном техническом обслуживании, которое осуществляется водителем автомобиля по окончании рабочего дня, выполняются работы по проверке действия приборов освещения, сигнализации и стеклоочистителей.

При ТО-1 проверяют чистоту наружных поверхностей стартера, генератора, реле-регулятора, приборов системы зажигания. Грязь и излишки масла удаляют ветошью, смоченной в бензине. При проведении этого вида технического обслуживания проверяют натяжение приводного ремня генератора и уровень электролита аккумуляторной батареи. При ТО-2 контролируют надежность контактных соединений клемм катушки зажигания, добавочного сопротивления и распределителя зажигания; проверяют и регулируют величины зазора между контактами прерывателя, реле-регулятора и электродами свечей зажигания; производят очистку внутренних поверхностей генератора и стартера от пыли и грязи; контролируют правильность установки фар, а также смазки подшипников генератора, оси рычажка и валика распределителя, степень заряженности аккумуляторной батареи.

Через каждые 40—50 тыс. км пробега автомобиля производят профилактический осмотр изделий электрооборудования, во время которого электрооборудование разбирают, все элементы осматривают и в случае необходимости заменяют.

Расходы на техническое обслуживание и ремонт изделий электрооборудования составляют около 25% расходов, затрачиваемых на техническсе обслуживание и ремонт всего автомобиля в целом.

§ 3. Основные технические требования, предъявляемые к автотракторному электрооборудованию

Электрооборудование автомобилей и тракторов старых марок работало на напряжении 6 В. С ростом потребителей электроэнергии и их мощности с 1945 г. электрооборудование на транспорте работает при номинальном напряжении 12 В, а на автомобилях и тракторах с дизельными двигателями большей мощности — при номинальном напряжении 24 В.

Потребители электроэнергии на автомобилях или тракторах должны функционировать при изменении подводимого напряжения от 0,90 до 1,25 от установленного для них номинального напряжения.

Номинальные данные изделий электрооборудования измеряют при номинальном напряжении. Номинальная мощность, номинальный ток и другие величины соответствуют работе электрооборудования при температуре 25 ± 10° С, относительной влажности 45—80% и атмосферном давлении (8,7÷10,6) 10^4 Па.

Все элементы автотракторного электрооборудования должны без повреждения изоляции выдерживать испытание на электрическую прочность изоляции обмоток и токоведущих деталей относительно корпуса. Кроме того, электрические машины и аппараты, за исключением аппаратов зажигания, должны выдерживать

испытание на электрическую прочность междусекционной или междувитковой изоляции обмоток, а аппараты зажигания — на электрическую прочность изоляции повышенным напряжением.

Изоляция обмоток и токоведущих элементов относительно корпуса должна выдерживать без повреждений в течение 1 мин воздействие испытательного напряжения частотой 50 Гц. Обмотки электрических машин и аппаратов, токоведущие детали коммутационной аппаратуры, работающие в главных цепях или цепях, содержащих индуктивность (выключатели массы, выключатели зажигания и т. д.), а также токоведущие детали цепей низкого напряжения стартеров, зажигания должны выдерживать испытательное напряжение 550 В. Степень искрения (класс коммутации) электрических машин по шкале ГОСТ 183—74 должна быть:

для электрических машин продолжительного режима работы не более 1,5;

для электрических машин повторно-кратковременного режима, а также для электрических машин кратковременного режима работы с продолжительностью 5 мин и выше — не более 2;

для электрических машин кратковременного режима работы с продолжительностью 3 мин и менее — не более 3.

Предельные допускаемые превышения температуры элементов электрооборудования автомобилей и тракторов во время стендовых испытаний при температуре окружающего воздуха не более 40° С и атмосферном давлении $(8{,}7 \div 10{,}6)\ 10^4$ Па с учетом класса изоляционных материалов (ГОСТ 8865—70) должны соответствовать значениям, указанным в табл. 4.

Таблица 4

Предельные допускаемые превышения температуры изделий электрооборудования

Изделия электрооборудования	Предельные допускаемые превышения температуры, °С	
	Класс А	Класс Е
Обмотки генераторов:		
автомобильных	100	115
тракторных	90	105
Обмотки электродвигателей	100	115
Обмотки реле-регуляторов и реле обратного тока	100	135
Обмотки реле различного назначения, за исключением реле-регуляторов и реле обратного тока	100	115

Электрические машины, распределители зажигания и магнето должны выдерживать без повреждений испытание на повышенную частоту вращения при холостом ходе в течение 2 мин, а стартеры — в течение 20 с.

Многие элементы электрооборудования, например аппараты системы зажигания, генераторы, реле-регуляторы и др., в процессе

работы на автомобиле излучают электромагнитные волны, т. е. являются источниками интенсивных радиопомех. Радиопомехи ухудшают работу теле- и радиоприемных устройств, расположенных на автомобиле или вблизи него. Уровень радиопомех от элементов электрооборудования с режимом работы свыше 1 мин не должен превышать величины, предусмотренной общесоюзными нормами допустимых индустриальных радиопомех.

По степени подавления радиопомех изделия электрооборудования выпускают в следующих исполнениях: неэкранированные, с частичным экранированием или помехозащитными устройствами и экранированные. Способы защиты от радиопомех для каждого изделия электрооборудования в отдельности при необходимости оговариваются в стандартах на эти изделия.

Надежность эксплуатации автомобилей и тракторов и их технико-экономические показатели в значительной степени зависят от надежности изделий электрооборудования. Оценка уровня качества изделий электрооборудования производится по данным карт технического уровня и качества продукции (ГОСТ 2.116—71). В эти карты включены основные показатели надежности (90%-ный ресурс, гарантийная наработка, измеряемая пробегом автомобиля в километрах) и экономические показатели (себестоимость и отпускная цена). Вновь разработанному изделию электрооборудования в зависимости от показателей его качества на основании сравнения с однотипным эталонным (базовым) изделием может быть присвоена высшая, первая или вторая категория качества. При разработке новых изделий электрооборудования и их модификаций предъявляется требование обеспечения максимально возможной унификации узлов и деталей, посадочных размеров и способов крепления.

Съемные детали и узлы, поставляемые в запасные части, должны быть взаимозаменяемы. С точки зрения технологичности конструкция изделий и приборов электрооборудования должна удовлетворять требованиям крупносерийного и массового производства при минимальной затрате труда и материалов. Изделия и приборы должны иметь минимальную себестоимость и трудоемкость в эксплуатации, требовать наименьших затрат на оборудование.

Срок службы изделий и приборов электрооборудования устанавливается в стандартах на отдельные виды электрооборудования. Срок службы изделий электрооборудования измеряется пробегом автомобиля в километрах или числом моточасов работы двигателя. Например, по техническим требованиям на генераторы переменного тока и транзисторные регуляторы напряжения установлен срок службы не менее 300 тыс. км пробега автомобиля.

Глава II. СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСТАРТЕРНОГО ПУСКА

§ 4. Системы пуска двигателей автомобилей и тракторов

Пуск является одним из этапов подготовки двигателя внутреннего сгорания к принятию нагрузки: двигатель при помощи пускового устройства переходит из состояния покоя на устойчивый режим самостоятельной работы. Двигатели внутреннего сгорания работают устойчиво только при относительно высокой частоте вращения коленчатого вала. Пусковое устройство раскручивает коленчатый вал до частоты, при которой происходят процессы образования, воспламенения и сгорания рабочей смеси.

Пусковые мощность, момент сопротивления, частота вращения. Пусковые качества двигателя внутреннего сгорания оцениваются минимальной пусковой частотой вращения и средним моментом сопротивления $M_с$. Пусковая мощность $P_{п.д}$ (в Вт) равна

$$P_{п.д} = (M_с \pi n_{min})/30, \quad (1)$$

где $M_с$ — момент сопротивления, соответствующий минимальной пусковой частоте вращения, Н·м;

n_{min} — минимальная пусковая частота вращения, об/мин.

Под минимальной пусковой частотой вращения понимают наименьшую для заданной температуры частоту вращения коленчатого вала, при которой пуск двигателя обеспечивается за две попытки стартования продолжительностью 10 с для карбюраторных двигателей и 15 с для дизелей с интервалами между попытками в одну минуту. Минимальная пусковая частота вращения зависит от температуры и определяется пусковыми характеристиками, представляющими собой зависимости времени пуска двигателя от средней частоты вращения коленчатого вала (рис. 3).

Средний момент сопротивления при пуске двигателя складывается из момента трения и момента, определяемого разностью работ сжатия и расширения заряда воздуха в цилиндрах.

При расчете требуемой пусковой мощности определяют средний момент сопротивления в режиме установившегося прокручивания. Работа трения за время раскручивания коленчатого вала переходит в тепловую энергию, которая идет на нагрев смазки между трущимися поверхностями. Вязкость масляных пленок при вращении коленчатого вала изменяется. С возрастанием ча-

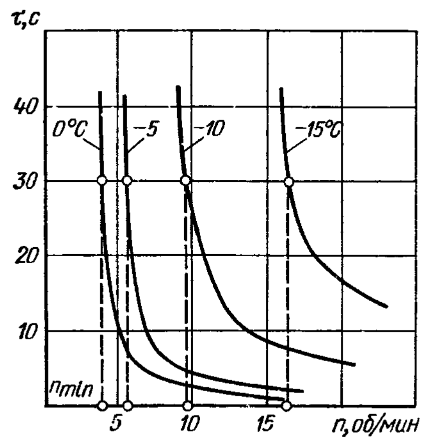


Рис. 3. Пусковые характеристики дизеля

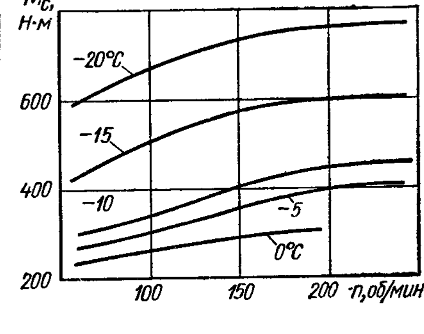


Рис. 4. Зависимость моментов сопротивления вращению коленчатого вала двигателя от частоты вращения

стоты вращения сила трения и, как следствие, тепловыделение увеличиваются. Время на охлаждение масла уменьшается, поэтому рост момента сопротивления с повышением частоты вращения замедляется (рис. 4). Аналогичная картина наблюдается и при увеличении начальной вязкости масла.

Для электростартерного пуска характерна высокая неравномерность вращения коленчатого вала. Коэффициент неравномерности зависит от средней частоты вращения вала, типа двигателя и числа цилиндров (рис. 5). Неравномерность вращения оказы-

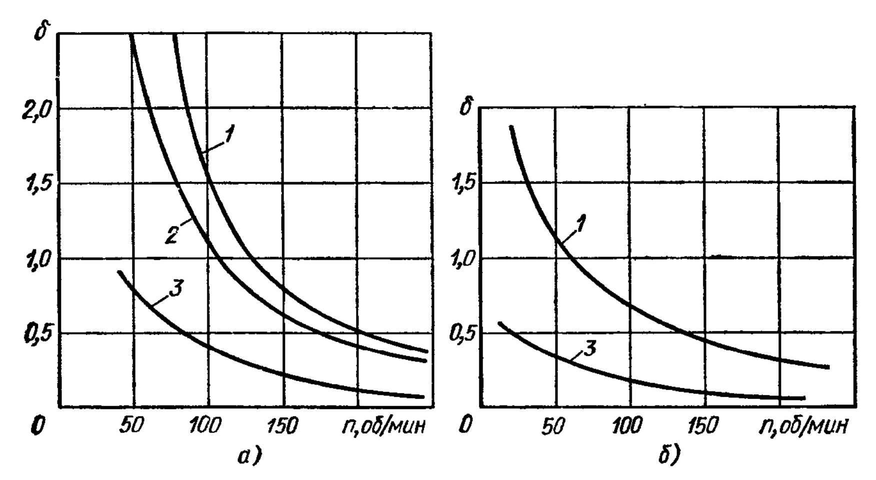


Рис. 5. Зависимости коэффициентов неравномерности вращения коленчатого вала от частоты вращения:

а — дизелей; *б* — карбюраторных двигателей; *1* — четырехцилиндровых; *2* — шестицилиндровых; *3* — восьмицилиндровых

вает влияние на величину среднего момента сопротивления, который при электростартерном пуске двигателя внутреннего сгорания рассчитывают по эмпирической формуле

$$M_c = 390V_h\left[\varepsilon + 6\sqrt{\delta_н} + k_м\left(1 + \frac{\delta_н^2}{8}\right)\sqrt{\nu\frac{\pi n_{пр}}{30}}\right], \qquad (2)$$

где V_h — рабочий объем цилиндров двигателя, $м^3$;

ε — степень сжатия;

$\delta_и$ — коэффициент неравномерности вращения коленчатого вала;

$k_м$ — коэффициент, равный 3,8 для карбюраторных двигателей и 2,8 для дизелей;

ν — кинематическая вязкость масла двигателя в начале пуска, Ст;

$n_{пр}$ — средняя частота вращения коленчатого вала в режиме установившегося прокручивания, об/мин.

Успешный пуск двигателя внутреннего сгорания зависит от взаимной увязки характеристик системы пуска и двигателя, а также от конструктивных и эксплуатационных факторов. Внешним фактором, определяющим условия пуска двигателя, является температура окружающей среды. Изменение температуры оказывает влияние на физико-химические свойства материалов, используемых в двигателе (топливо, масло, охлаждающую жидкость) и выходные характеристики основных и вспомогательных пусковых устройств. Это в свою очередь оказывает большое влияние на процесс пуска.

Наибольшие трудности вызывает пуск двигателя при низких температурах. Основными причинами, затрудняющими пуск при низких температурах, являются:

повышенная вязкость масла двигателя и соответствующее увеличение момента сопротивления;

повышенная вязкость топлива и снижение его испаряемости, отрицательно влияющие на протекание процессов смесеобразования и вызывающие увеличение минимальной пусковой частоты вращения;

ухудшение условий для воспламенения и сгорания топливовоздушной смеси при понижении давления и температуры сжатия;

ухудшение характеристик системы зажигания карбюраторных двигателей, обусловленное падением напряжения на зажимах аккумуляторной батареи при работе ее в стартерном режиме.

Для каждого двигателя с определенной электростартерной пусковой системой при заданных марках топлива и масла двигателя существует предельная температура, ниже которой надежный пуск становится невозможным.

Предельная температура пуска — это наиболее низкая температура окружающей среды, при которой пуск двигателя на основном топливе и 75%-ной заряженности аккумуляторной батареи осуществляется не более чем за три попытки стартования.

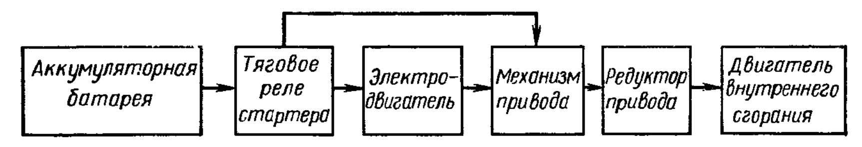


Рис. 6. Структурная схема электростартерной пусковой системы

Предельная температура пуска служит критерием оценки пусковых качеств двигателя, пускаемого без предварительного разогрева. При использовании средств предпускового разогрева в качестве критерия оценки пусковых качеств принимается общее время подготовки двигателя к принятию нагрузки.

Структурная схема системы электростартерного пуска. Для осуществления пуска двигателя внутреннего сгорания необходим комплекс агрегатов и устройств, которые совместно с соединительными коммуникациями составляют систему пуска.

На всех отечественных автомобилях установлены электропусковые системы с электростартерами прямого действия, электродвигатели которых осуществляют вращение коленчатого вала двигателя через понижающий редуктор привода. Тракторные дизели оборудованы как электростартерными пусковыми системами, так и вспомогательными бензиновыми двигателями, пуск которых осуществляется при помощи электростартеров. Широкое распространение электростартерных пусковых систем обусловлено их простотой, надежностью, компактностью, постоянной готовностью к работе, удобством дистанционного управления, а также возможностью подзаряда аккумуляторной батареи во время работы двигателя.

Структурная схема электростартерной пусковой системы приведена на рис. 6. Электростартеры на автомобилях и тракторах получают питание от автономного источника питания — аккумуляторной батареи. В качестве стартерных используются электродвигатели постоянного тока с последовательным или смешанным возбуждением, характеристики которых хорошо согласуются со сложным характером нагрузки.

Стартерные электродвигатели соединены с аккумуляторными батареями через систему коммуникаций, структура которой зависит от выбранного способа управления процессом пуска. В систему управления могут быть введены дополнительные реле, обеспечивающие дистанционное управление, автоматическое отключение стартера от источника питания после пуска двигателя, а также предотвращение включения стартера при работающем двигателе.

Рациональному использованию аккумуляторной батареи способствует правильное согласование характеристик всех элементов электропусковой системы и обоснованный выбор схемы и параметров системы, при которых расходуется минимальное количество энергии источника питания. Расход энергии аккумуля-

торной батареи возрастает при увеличении потерь в проводах, соединяющих стартер с аккумуляторной батареей. Для уменьшения их длины, габаритных размеров и массы батареи, эффективного использования электроэнергии, а также удобства установки и обслуживания в эксплуатации необходимо предусмотреть рациональное размещение элементов электропусковой системы двигателя на автомобиле или тракторе.

Выбор типа и параметров электропусковой системы зависит от требуемого срока службы и эксплуатационной надежности (возможность повторных пусков, работоспособность и безотказность при всех заданных условиях эксплуатации).

Передаточное число привода от стартера к двигателю. Параметром, определяющим рациональное согласование мощностной характеристики пускового устройства с пусковыми характеристиками двигателя внутреннего сгорания, является передаточное число привода от стартера к двигателю. Этот параметр оказывает влияние на изменение угла наклона механической характеристики стартерного электродвигателя, приведенной к коленчатому валу двигателя внутреннего сгорания. С повышением передаточного числа приведенный вращающий момент увеличивается, а приведенная частота вращения уменьшается. Максимум мощности пускового устройства смещается в сторону меньшей частоты вращения коленчатого вала двигателя. Для каждого двигателя и заданных условий пуска существуют оптимальные передаточные числа, при которых наилучшим образом используются мощностные характеристики пускового устройства.

Габаритные размеры электрических машин уменьшаются с возрастанием их быстроходности. При сравнительно низких пусковых частотах вращения карбюраторных двигателей (40—85 об/мин) и дизелей (50—200 об/мин) рост быстроходности стартерных электродвигателей возможен лишь за счет повышения передаточного числа привода, что ограничено конструктивными условиями. Если задан модуль, то рост передаточного числа возможен при увеличении числа зубьев и диаметра венца маховика или уменьшении диаметра и числа зубьев шестерни. Максимальный диаметр венца маховика ограничен условиями размещения его на двигателе. Минимальное число зубьев шестерни при нормальном эвольвентном зацеплении ограничено, так как имеет место подрезание основания зубьев и ослабление их прочности. Обычно шестерня стартера имеет 8—11 зубьев. При таком малом числе зубьев для повышения их прочности применяют коррегированное эвольвентное зацепление. Передаточное число зубчатых передач от шестерни привода стартера к венцу маховика $i = 9—18$.

Мощность пусковой системы $P_п$ (в Вт) можно определить по формуле

$$P_п = P_{п.д}/\eta_р, \quad (3)$$

где $\eta_р$ — КПД зубчатой передачи от якоря стартера к коленчатому валу. КПД передачи шестерня стартера—зубчатый венец маховика обычно равен 0,85.

Формулы (1)—(3) позволяют определить исходные данные для разработки системы пуска.

§ 5. Аккумуляторные батареи

Аккумуляторная батарея на автомобиле и тракторе предназначена для питания электрического стартера при пуске двигателя внутреннего сгорания. Она служит также для снабжения энергией потребителей при неработающем двигателе или при работе его на небольшой частоте вращения, а также для совместного с генераторной установкой питания потребителей в случае, когда их мощность превышает мощность генераторной установки.

Аккумуляторная батарея представляет собой совокупность последовательно соединенных аккумуляторов. Аккумулятор — химический источник тока, устройство, способное накапливать химическую энергию при подаче извне электрического тока (заряд) и отдавать ее в виде электрической энергии во внешнюю цепь (разряд). Процессы превращения энергии происходят многократно в течение всего времени работы аккумулятора.

По типу применяемого электролита аккумуляторы подразделяются на кислотные и щелочные. Наибольшее распространение получили свинцово-кислотные (свинцовые) стартерные аккумуляторные батареи, которые способны отдавать большие токи для питания стартера при малом падении напряжения на выводах батареи.

Химические процессы и характеристики свинцового аккумулятора. Простейший свинцовый аккумулятор представляет собой сосуд с водным раствором серной кислоты H_2SO_4 и погруженными в него двумя пластинами — электродами. Активными материалами при протекании электрохимических процессов являются двуокись свинца PbO_2 на положительной пластине и губчатый свинец Pb на отрицательной пластине. При разряде (табл. 5) отрицательная пластина выделяет свинцовые ионы Pb^{++} в раствор, одновременно становясь отрицательно заряженной. Ионы свинца Pb^{++} вступают в реакцию с сульфатными ионами SO_4^{--}, находящимися в растворе, и образуют сульфат свинца $PbSO_4$, который отлагается на отрицательной пластине. Двуокись свинца положительной пластины при прохождении тока переходит в раствор, ионизируясь в четырехвалентные ионы свинца Pb^{++++} и одновалентные ионы гидроксила OH^-. Затем, получая по два отрицательных заряда, четырехвалентные ионы свинца переходят в двухвалентные ионы Pb^{++}. В результате ионизации электролита образуются положительные ионы H^+ и отрицательные ионы SO_4^{--}. Ионы свинца Pb^{++} и сульфата SO_4^{--} образуют сульфат свинца $PbSO_4$, который отлагается на положительной пластине. Во время раз-

Таблица 5

Химические процессы при разряде свинцового аккумулятора

Процессы	Отрицательная пластина	Электролит	Положительная пластина
Исходное состояние	Pb	$2H_2SO_4$ и $2H_2O$	PbO_2
Процесс ионизации		SO_4^{--}, SO_4^{--}, $4H^+$	$4OH^- Pb^{++++}$
Токообразующий процесс	← $2\ominus + Pb^{++}$		$Pb^{++} - 2\ominus$ ←
Конечные продукты разряда	$PbSO_4$	$4H_2O$ $2H_2O$ $2H_2O$	$PbSO_4$

Таблица 6

Химические процессы при заряде свинцового аккумулятора

Процессы	Отрицательная пластина	Электролит	Положительная пластина
Конечные продукты разряда	$PbSO_4$	$4H_2O$	$PbSO_4$
Процесс ионизации	Pb^{++}, SO_4^{--}	$2H^+$, $4OH^-$, $2H^+$	SO_4^{--}, Pb^{++}
Токообразующий процесс	$+2\ominus$ →		→ $2\ominus$ Pb^{++++}
Исходное состояние	Pb	H_2SO_4 $2H_2O$ H_2SO_4	PbO_2

ряда ионы сульфата SO_4^{--} расходуются как у положительной пластины, так и у отрицательной, перемещаясь от положительной к отрицательной пластине. Ионы водорода H^+ перемещаются от отрицательной к положительной пластине, где часть их идет на образование воды, соединяясь с ионами гидроксила OH^-. Уменьшение кислоты H_2SO_4 у положительной пластины больше, чем у отрицательной. Положительная пластина по сравнению с отрицательной требует в большем количестве H_2SO_4. Плот-

ность электролита при разряде вследствие образования воды уменьшается и составляет (1,09—1,15) 10^{-3} кг/м^3.

При заряде аккумулятора продукт разряда его (сульфат свинца) восстанавливается до исходных материалов путем подвода извне электрической энергии. Сульфат свинца у обеих пластин переходит в раствор и ионизируется. Вода также ионизируется. Двухвалентные ионы свинца Pb^{++} у отрицательной пластины получают по два электрона, нейтрализующие их заряды, после чего свинец выделяется в твердом состоянии. Двухвалентные ионы свинца у положительной пластины Pb^{++} под действием зарядного тока отдают два электрона и переходят в четырехвалентное состояние Pb^{++++}. Каждый из этих ионов соединяется с двумя кислородными ионами и образует двуокись свинца PbO_2, которая выделяется на положительной пластине. Ионы сульфата SO_4^{--}, образовавшиеся у каждой пластины, соединяются с двумя водородными ионами, образуя серную кислоту. При заряде аккумулятора плотность электролита увеличивается от (1,09 — 1,15) 10^3 до (1,25 — 1,31) 10^3 кг/м^3.

Таким образом, окислительно-восстановительные процессы в свинцовом аккумуляторе при разряде и заряде могут быть описаны уравнением

$$PbO_2 + Pb + 2H_2SO_4 \underset{\text{заряд}}{\overset{\text{разряд}}{\rightleftarrows}} 2PbSO_4 + 2H_2O.$$

Окислительно-восстановительные процессы происходят на границе раздела активной массы пластин и электролита, особенно при больших разрядных токах. Для увеличения граничной площади, более простого доступа электролита к активным материалам и их полного использования пластины свинцового аккумулятора выполняют пористыми.

ЭДС аккумуляторной батареи зависит от физико-химических свойств веществ, из которых изготовлены электроды и электролит. Так, ЭДС заряженного свинцового аккумулятора составляет 2,1 В, никель-кадмиевого 1,36 В, серебряно-цинкового 1,86 В.

ЭДС свинцового аккумулятора зависит от плотности электролита. С точностью, достаточной для практических целей, зависимость ЭДС от плотности электролита можно определить по уравнению

$$E = 0{,}85 + \gamma \cdot 10^{-3}, \qquad (4)$$

где E — ЭДС аккумулятора, В;

γ — плотность электролита при температуре 15° С, кг/м^3.

Для свинцового аккумулятора, в котором плотность электролита при температуре 15° С равна (1,09 — 1,31) 10^3 кг/м^3, ЭДС по формуле (4) равна 1,94—2,16 В.

ЭДС аккумуляторной батареи, состоящей из нескольких последовательно соединенных аккумуляторов, равна сумме ЭДС этих аккумуляторов.

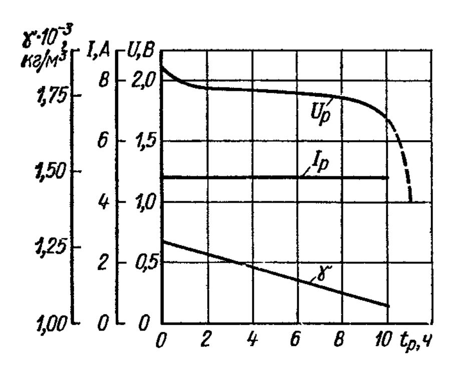


Рис. 7. Изменение напряжения и плотности электролита аккумулятора во времени при разряде постоянным током

Напряжение аккумулятора отличается от ЭДС на величину внутреннего падения напряжения в аккумуляторе при прохождении тока (разряде или заряде).

Напряжение аккумуляторной батареи при разряде $U_р$ меньше ЭДС и равно

$$U_р = E_а - I_р R_а,$$

где $I_р$ — ток разряда, А;
$E_а$ — ЭДС аккумуляторной батареи, В;
$R_а$ — внутреннее сопротивление батареи при разряде, Ом.

В процессе разряда напряжение аккумулятора падает за счет повышения внутреннего сопротивления аккумулятора и уменьшения ЭДС при снижении плотности электролита (рис. 7). Внутреннее сопротивление аккумулятора представляет собой сумму сопротивлений пластин и электролита. Сопротивление пластин в процессе разряда резко возрастает, так как активная масса, состоящая из свинца на отрицательной пластине и двуокиси свинца на положительной пластине с удельным сопротивлением соответственно $1{,}83 \cdot 10^{-4}$ и $0{,}25 \cdot 10^{-2}$ Ом · м превращается в сульфат свинца с удельным сопротивлением 10^5 Ом · м. В начале разряда сопротивление электролита несколько уменьшается в связи с падением плотности его до $1{,}225 \cdot 10^3$ кг/м^3. Удельное сопротивление электролита становится минимальным, а затем повышается. Кроме того, при разряде уменьшается сечение пор активной массы из-за отложения сульфата свинца. В результате сокращается площадь поверхности соприкосновения активной массы с электролитом и степень использования активных материалов, заложенных в аккумуляторе.

В процессе разряда происходит постепенное падение разрядного напряжения аккумулятора, а в конце — резкое (пунктирная кривая); это обусловлено истощением активной массы, уменьшением сечения пор и затруднением диффузии электролита.

На характер зависимости разрядного напряжения от времени влияют температура электролита и сила разрядного тока. При понижении температуры особенно ниже 0° С резко увеличивается вязкость и удельное сопротивление электролита. С повышением вязкости уменьшается скорость диффузии электролита из наружных слоев в поры активной массы. Удельное сопротивление электролита при изменении температуры от 0 до —30° С возрастает в 2,5 раза. Поэтому разрядное напряжение аккумуляторной

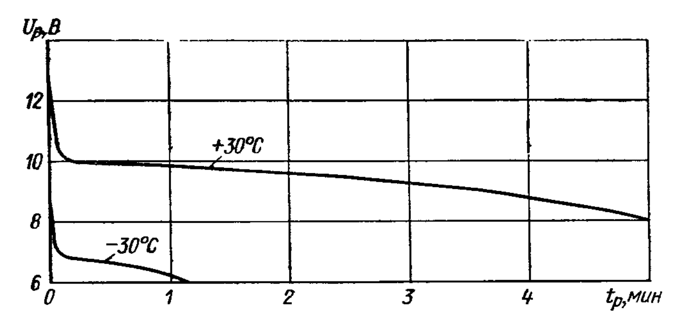


Рис. 8. Изменение напряжения аккумуляторной батареи при разряде стартерным током

батареи резко падает при понижении температуры электролита (рис. 8).

При возрастании силы разрядного тока изменение напряжения во времени становится более резким. Особенно резко напряжение аккумулятора понижается при совместном воздействии температуры ниже 0° С и большого разрядного тока, характерных для пуска двигателя зимой (рис. 9). Напряжение аккумуляторной батареи при заряде больше ее ЭДС:

$$U_з = E_а + I_з R_а,$$

где $I_з$ — ток заряда, А;

$R_а$ — внутреннее сопротивление батареи при заряде, Ом.

Характер изменения зарядного напряжения аккумулятора во времени при постоянной силе тока заряда приведен на рис. 10.

Емкость аккумуляторной батареи — это количество электричества, выраженное в ампер-часах, которое можно получить при данных условиях разряда (температура, сила тока разряда, плотность электролита) до определенного значения напряжения аккумуляторной батареи.

При определении емкости не допускается разряд аккумулятора до нулевого значения напряжения, так как при глубоком

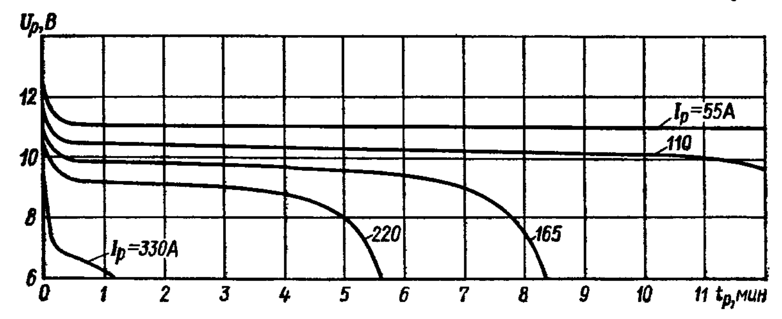


Рис. 9. Изменение напряжения аккумуляторной батареи 6СТ-55ЭМ во времени при разряде токами различной силы при температуре —20° С

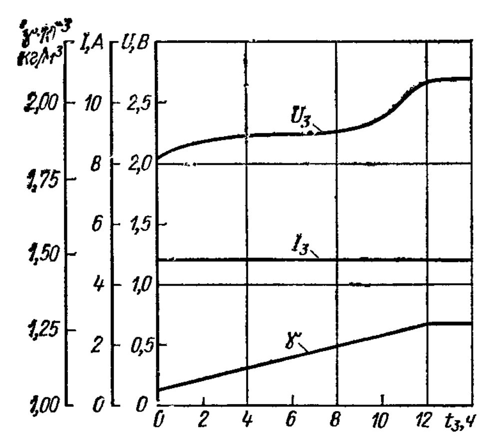


Рис. 10. Изменение зарядного напряжения и плотности электролита аккумуляторной батареи по времени при заряде постоянным током

разряде сульфат свинца закрывает поры пластин, электролит не проникает в глубину пор, а в активной массе пластин появляются трещины. Определение емкости аккумуляторов при разряде проводят обычно при постоянной силе тока. Рассчитывают емкость по следующей формуле:

$$C_р = I_р t_р,$$

где $t_р$ — время разряда, ч.

Емкость аккумуляторной батареи при последовательном соединении аккумуляторов равна емкости одного аккумулятора. Емкость зависит от количества активных материалов, режима разряда, температуры электролита, а также от толщины, площади, пористости пластины, степени их износа и др.

Чем больше количество активной массы, тем выше емкость аккумуляторной батареи (при условии достаточного количества электролита для обеспечения нормального протекания окислительно-восстановительных реакций).

С повышением силы тока время разряда, а следовательно, и емкость аккумуляторной батареи уменьшаются. Связь между силой разрядного тока и временем разряда выражается зависимостью, предложенной Пейкертом:

$$I_р^{v'} t_р = \text{const},$$

где v' — постоянная величина, не зависящая от емкости аккумуляторной батареи и характеризующая тип аккумулятора; для свинцового аккумулятора $v' = 1,2 \div 1,6$.

Время разряда аккумулятора до определенного конечного напряжения зависит от силы тока и составляет от нескольких часов до нескольких минут (см. рис. 9). Соответственно изменяется емкость аккумулятора.

При больших (стартерных) токах разряда образующийся на пластинах мелкокристаллический сульфат свинца закупоривает поры наружного слоя активной массы. Внутренние слои активной массы не участвуют в реакции. Концентрация электролита в порах резко снижается, так как диффузия электролита в поры пластин затруднена. В результате этого напряжение аккумулятора падает, что ограничивает емкость аккумулятора. При низких температурах электролита, особенно при температуре ниже 0° С,

отдаваемая аккумулятором емкость уменьшается (из-за резкого снижения разрядного напряжения).

Так как емкость аккумуляторной батареи зависит от тока разряда и температуры, то гарантируемая емкость батареи (номинальная и стартерная) указана только для определенных условий разряда.

Конструкция свинцовых стартерных аккумуляторных батарей (рис. 11). Аккумуляторная батарея с номинальным напряжением 6, 12 или 24 В состоит соответственно из 3, 6 или 12 последовательно соединенных аккумуляторов.

Моноблок *1* представляет собой сосуд, разделенный перегородками *10* на секции по числу аккумуляторов. На дне каждой секции расположены четыре опорные призмы, между которыми имеется пространство для шлама (активной массы, оплывающей на дно секций при эксплуатации аккумуляторов). Это исключает короткие замыкания пластин.

Моноблоки современных аккумуляторных батарей изготовляют из эбонита, асфальтопека или пластмасс (термопласт-полиэтилен, полипропилен, полистирол). Для повышения кислотостойкости асфальтопековые моноблоки имеют кислотоупорные вставки из полихлорвиниловой пленки по форме секции. Вставки запрессованы в асфальтопековую массу.

В крышке *2* имеется центральное отверстие для заливки электролита и контроля его уровня, а также два отверстия для выводных штырей с запрессованными свинцовыми втулками, обеспечивающими герметизацию. Изготовляют крышки из эбонита, бакелита или фенолита.

Пробка *3* со специальной пластинкой — отражателем закрывает отверстие в крышке. Для свободного выхода газов, выделяющихся при заряде аккумулятора, в пробке имеется вентиляционное отверстие. Иногда крышки выполняют с вентиляционными отверстиями в цилиндрических приливах. В этом случае в пробках отсутствуют вентиляционные отверстия.

Пластины состоят из решетки и пористой активной массы, заполняющей ячейки решетки. Решетка служит для удержания активной массы и равномерного распределения тока по всему объему.

Решетка полублока пластин (рис. 12) состоит из рамки *4*, вертикальных и горизонтальных жилок, ушка *3* для соединения пластин одноименной полярности в полублок и выступов *5*, которыми пластины опираются на призмы моноблока. Положительные и отрицательные пластины опираются на соответствующие призмы моноблока. Это устраняет короткое замыкание разноименных пластин по ребру призмы. Решетки положительных и отрицательных пластин имеют одинаковую конструкцию, но у отрицательных пластин решетки имеют меньшую толщину по сравнению с положительными, так как они в меньшей степени подвержены коррозии.

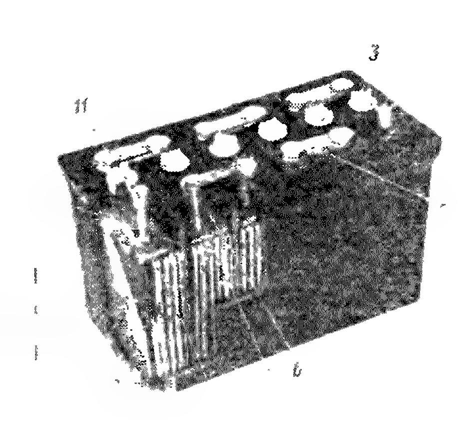


Рис. 11. Свинцовая стартерная аккумуляторная батарея:

1 — моноблок; 2 — крышка; 3 — пробка; 4 — отрицательная выводная клемма; 5 — перемычка; 6 — предохранительный щиток; 7 — полублок отрицательных пластин; 8 — полублок положительных пластин; 9 — сепаратор; 10 — перегородка; 11 — положительная выводная клемма

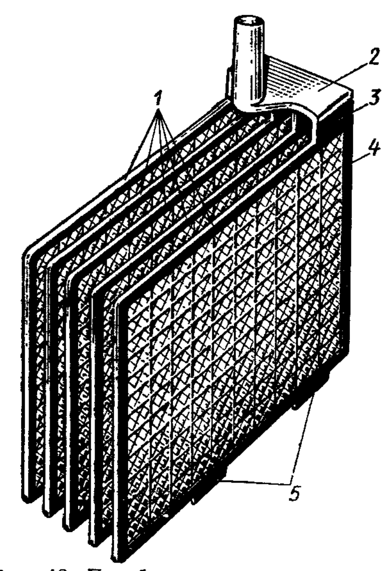


Рис. 12. Полублок пластин.

1 — пластина; 2 — баретка; 3 — ушко; 4 — рамка; 5 — выступ

Решетки для повышения механической прочности и улучшения литейных свойств отлиты из свинцово-сурьмяного сплава с содержанием сурьмы 5—8%. На решетки пластин наносят пасту при помощи специальных машин. Паста состоит из свинцового порошка и свинцовых окислов, замешанных на водном растворе серной кислоты. При нанесении пасты на отрицательные пластины в пасту добавляют расширители, которые предотвращают уплотнение губчатого свинца в процессе работы аккумулятора. После нанесения пасты пластины подвергают прокатке или прессовке для выравнивания поверхности, уплотнения пасты, отжима влаги и улучшения контакта между пастой и решеткой. Затем пластины сушат и подвергают формированию, для чего их помещают в ванны, заполненные электролитом плотностью $(1{,}02 \div 1{,}15)\ 10^3$ кг/м^3, подключают к источнику тока и заряжают. В результате формирования паста превращается в высокопористую активную массу — губчатый свинец на отрицательных пластинах и двуокись свинца на положительных пластинах. После формирования пластины промывают и сушат. Высушенные и отформованные пластины одинаковой полярности припаивают к баретке 2, которая является токоведущим элементом. В результате образуется полублок пластин (рис. 12). Баретки изготовляют литьем из свинцово-сурьмяного сплава достаточно массивными для уменьшения внутреннего сопротивления аккумуляторной батареи.

Полублок отрицательных пластин содержит на одну пластину больше, чем полублок положительных пластин. При таком соотношении обе стороны положительной пластины участвуют в электрохимических процессах и подвергаются одинаковым изменениям объема активной массы при заряде и разряде, что увеличивает емкость аккумулятора и создает равномерный износ положительной пластины с обеих сторон. Крайние к стенкам секции отрицательные пластины в некоторых случаях изготовляют более тонкими, так как в реакциях участвует только сторона, обращенная к положительной пластине.

Сепараторы представляют собой пористые изоляционные прокладки, расположенные между положительными и отрицательными пластинами, предназначенные для предупреждения короткого замыкания пластин противоположного знака, фиксации расстояния между пластинами во время тряски и создания необходимого запаса электролита в пространстве между пластинами.

Существует два вида сепарации — одинарная и двойная. Сепараторы современных свинцовых стартерных аккумуляторных батарей изготовляют из мипора (микропористого эбонита) и мипласта (микропористого полихлорвинила). При двойной сепарации к мипору или мипласту добавляют сепаратор из стекловойлока, устанавливаемый со стороны положительной пластины.

Сепараторы из мипласта или мипора представляют собой прямоугольные пластины с гладкой поверхностью со стороны отрицательных пластин и ребристой со стороны положительных пластин аккумулятора. Наличие ребер создает около положительной пластины больший объем электролита, чем у отрицательной, что связано с протеканием электрохимических процессов в аккумуляторе.

Сепараторы из стекловойлока в сочетании с мипластом или мипором применяют в основном для предохранения от оплывания активной массы положительных пластин в тяжелых условиях эксплуатации (вибрация, тряска) и создания дополнительного резервуара электролита. Однако применение двойной сепарации повышает внутреннее сопротивление аккумулятора по сравнению с одинарной сепарацией, что ухудшает его работу при стартерном разряде.

При сборке аккумуляторной батареи в секции моноблока на призмы устанавливают блоки пластин, собранные с сепараторами. Поверх блоков накладывают предохранительные щитки из винипласта, которые предохраняют пластины от коротких замыканий и поломок кромок сепараторов. Затем устанавливают крышки, припаивают перемычки, соединяющие между собой аккумуляторы в батарее. На крайние выводные штыри наплавляют конические выводные клеммы и ставят клеймо соответствующего полюсного

знака. Для крепления крышек к моноблоку и герметизации стыков применяют заливочную мастику.

Конструктивные усовершенствования аккумуляторных батарей, осуществленные за последние годы в отечественной и зарубежной практике, направлены на повышение удельных показателей, уменьшение массы и габаритных размеров батарей, снижение расхода свинца, трудоемкости обслуживания и увеличение срока службы аккумуляторных батарей.

Одним из конструктивных усовершенствований является применение единой крышки батареи взамен обычной конструкции, предусматривающей крышки на каждый аккумулятор. В новой конструкции перемычки размещены внутри аккумуляторной батареи под общей крышкой и проходят через перегородки, разделяющие секции моноблока, или над ними. Длина перемычек, а следовательно, и внутреннее сопротивление аккумуляторной батареи уменьшаются.

В современных конструкциях аккумуляторных батарей для моноблоков, крышек и пробок широко используются различные пластмассы. Это позволяет снизить массу и стоимость, улучшает внешний вид батарей.

Сепараторы изготовляют из высокопористых синтетических материалов. Одинарный сепаратор иногда имеет форму конверта, который надевается на положительную пластину. В комбинированных двойных сепараторах на основной сепаратор наклеивают стекловойлок. Это уменьшает сопротивление сепаратора и аккумуляторной батареи при одновременном увеличении объема электролита у положительных пластин.

В батареях при тяжелых условиях эксплуатации для уменьшения осыпания активной массы положительных пластин вводят связующие добавки (например, кусочки полиэтилена). В этих случаях в батареях применяют одинарную сепарацию взамен двойной.

Современные свинцовые стартерные аккумуляторные батареи для легковых автомобилей имеют тонкие пластины толщиной 1,3—1,5 мм. Использование таких пластин вместо обычных, толщиной более 2 мм, позволяет разместить большее число пластин, а следовательно, увеличить емкость аккумуляторных батарей при тех же габаритных размерах. Однако уменьшение толщины пластин ограничивается их механической прочностью, а также продолжительностью работы батареи. Тонкие решетки пластин подвержены быстрому износу, вызванному коррозией. Для предотвращения этого явления в материал решеток пластин вводят противокоррозионные добавки (мышьяк, кальций). Разработаны решетки из армированных или металлизированных пластмасс.

Проводимые усовершенствования позволяют значительно повысить удельную энергию и увеличить продолжительность работы стартерных свинцовых аккумуляторных батарей.

Технические характеристики и условия работы свинцовых аккумуляторных батарей. Тип аккумуляторной батареи определяется:

числом последовательно соединенных аккумуляторов в батарее (3, 6), характеризующим ее номинальное напряжение (6, 12 В);

назначением: стартерная для автомобилей и автобусов — СТ или стартерная для машин тяжелой службы (тракторов, дорожных, сельскохозяйственных машин и т. п.) — ТСТ;

номинальной емкостью при 20-часовом режиме разряда.

Условное обозначение аккумуляторной батареи состоит из обозначения типа батареи; букв, характеризующих материал моноблока и материал сепараторов.

Для обозначения материала моноблока введены следующие буквы: Э — моноблок из эбонита, П — из асфальтопека, Т — из термопласта, а для материала сепараторов следующие: М — мипласт, Р — мипор, П — пластипор, С — стекловойлок, МС — мипласт в комбинации со стекловойлоком, РС — мипор со стекловойлоком.

Например, условное обозначение батареи 6СТ-75ЭМС расшифровывается следующим образом: батарея с шестью последовательно соединенными аккумуляторами, имеющая номинальное напряжение 12 В и номинальную емкость 75 А·ч при 20-часовом режиме разряда, в моноблоке из эбонита с двойными сепараторами из мипласта и стекловойлока.

Номинальную емкость определяют непрерывным разрядом батарей постоянным током, равным $0{,}05C_{20}$ (C_{20} — номинальная емкость 20-часового режима разряда) при температуре электролита +25° С до достижения конечного напряжения батарей 5,25 В (при номинальном напряжении для батарей 6 В) и 10,5 В (при напряжении 12 В).

Если температура отличается от +25° С и находится в интервале 18—27° С, полученная емкость должна быть приведена к температуре 25° С по формуле

$$C_р = C_t/[1 + 0{,}01\,(t - 25)], \tag{5}$$

где C_t — емкость, полученная при испытаниях, А·ч;
t — температура электролита при разряде, °С.

Стартерную емкость аккумуляторной батареи определяют непрерывным разрядом охлажденной до −18 ± 1° С батареи постоянным током, равным $3C_{20}$, до конечного напряжения на выводах 3 В и 6 В (соответственно для аккумуляторных батарей 6 В и 12 В).

Срок службы аккумуляторной батареи определяется числом моточасов работы двигателя или пробегом автомобиля. Аккумуляторные батареи считают вышедшими из строя при снижении емкости до 40% номинального значения или снижении продолжи-

тельности стартерного разряда до 1,5 мин при температуре $+25 \pm 2°$ С.

Срок службы аккумуляторных батарей при эксплуатации на автомобилях, тракторах и других машинах, гарантируемый при условии соблюдения правил ухода и эксплуатации батарей и исправности электрооборудования, приведен в табл. 7.

Таблица 7

Срок службы аккумуляторных батарей

Параметры	Аккумуляторные батареи с сепарацией		
	одинарной		двойной
Минимальный срок службы, мес	18	24	24
Пробег автомобиля, тыс. км	Не более 60	—	Не более 75
Наработка, моточасы . .	—	Не более 2500	Не более 3000

Аккумуляторные батареи на автомобилях и тракторах работают в двух режимах: стартерном и циклирования — разряд-заряд при движении машины (разряд — на потребители, заряд — от генераторной установки).

Основным режимом работы аккумуляторной батареи в системе электрооборудования автомобиля и трактора является стартерный разряд батареи током для питания стартера при пуске двигателя внутреннего сгорания. Аккумуляторная батарея в стартерном режиме разряда должна отдать ток силой $3 \div 5\ C_{20}$ в течение определенного времени без снижения напряжения на выводах батареи ниже допустимой величины (для обеспечения пуска двигателя стартером и по требованиям системы зажигания).

Вольт-амперная разрядная характеристика является связующей между параметрами батареи и стартера при пуске двигателя.

Вольт-амперной разрядной характеристикой аккумуляторной батареи называется зависимость напряжения батареи от тока разряда, построенная для определенного момента разряда. Вольт-амперную характеристику (рис. 13) представляют прямой с координатами: $U_{нр}$ — начальное разрядное напряжение при токе разряда $I_р = 0$ и $I_{кз}$ — ток короткого замыкания, которому соответствует напряжение $U_р = 0$.

Вольт-амперная характеристика описывается уравнением

$$U_р = U_{нр} - R_а I_р, \quad (5)$$

где $R_а$ — сопротивление аккумуляторной батареи, Ом.

С понижением температуры электролита, повышением степени разряженности внутреннее сопротивление батареи и угол наклона

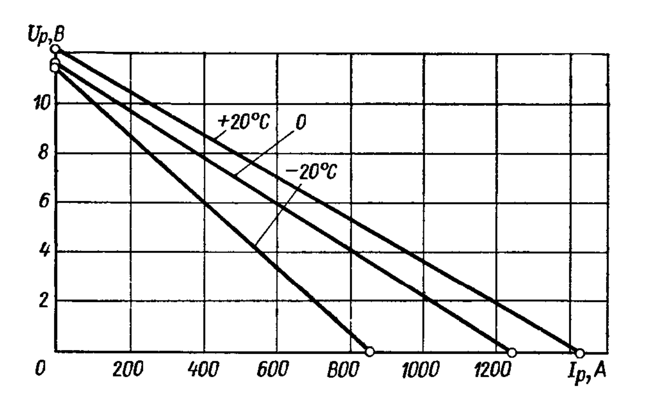


Рис. 13. Вольт-амперные разрядные характеристики заряженной аккумуляторной батареи 6СТ-55ЭМ

вольт-амперной характеристики (5) к оси абсцисс увеличиваются, т. е. при одном и том же значении разрядного тока напряжение батареи уменьшается. Вольт-амперная характеристика батареи зависит от ее емкости: с повышением емкости возрастает ток короткого замыкания батареи. На вольт-амперную характеристику оказывают влияние степень износа батареи, тип сепарации и другие факторы.

Эксплуатация и причины выхода из строя свинцовых стартерных аккумуляторных батарей. Новую аккумуляторную батарею заполняют электролитом соответствующей плотности, температура электролита не ниже 15° С и не выше 25° С (30° С для зон с тропическим климатом). Для приготовления электролита применяют аккумуляторную серную кислоту и дистиллированную воду. Плотность электролита зависит от температурных условий, в которых эксплуатируется батарея. Аккумуляторные батареи, работающие при низких температурах, для предохранения электролита от замерзания должны иметь повышенную плотность. Аккумуляторные батареи, эксплуатируемые в южных районах, заполняют электролитом пониженной плотности, так как при высокой температуре скорость электрохимических реакций в аккумуляторах повышается, а срок службы батареи сокращается.

Значения плотности электролита аккумуляторных батарей для различных климатических районов приведены в табл. 8.

После заливки электролита производят контроль плотности его не ранее чем через 20 мин и не позже чем через 2 ч. Если плотность электролита понизилась не более чем на $0{,}03 \cdot 10^3$ кг/м^3 по сравнению с плотностью при заливке батарея может быть поставлена на эксплуатацию. При более резком снижении плотности батарею следует подзарядить.

Существует несколько методов заряда аккумуляторных батарей: при постоянной величине зарядного тока, при постоянной величине напряжения зарядного источника электроэнергии, ступенчатый, форсированный и др. Первый метод используется при

Таблица 8

Плотность электролита аккумуляторных батарей для различных климатических районов

Климатический район	Время года	Плотность электролита 10^3 кг/м³	
		перед зарядом	полностью заряженной батареи
Районы с резко континентальным климатом, с температурой зимой ниже —40° C	Зимой	1,29	1,31
	Летом	1,25	1,27
Северные районы с температурой зимой до —40° C	Круглый год	1,27	1,29
Центральные районы с температурой зимой до —30° C	То же	1,25	1,27
Южные районы	»	1,23	1,25
Тропики	»	1,21	1,23

Примечание. Допускаются отклонения от указанных значений на $\pm 0{,}01 \times 10^3$ кг/м³.

формировании пластин и на зарядных станциях, второй — на автомобилях и тракторах.

В процессе эксплуатации степень разряженности свинцовой аккумуляторной батареи (%) можно определить по формуле

$$\Delta C_р = \frac{\gamma_з - \gamma}{\gamma_з - \gamma_р} 100, \quad (6)$$

где $\gamma_з$, $\gamma_р$ — плотность электролита полностью заряженного и разряженного аккумулятора при температуре 15° C, $\gamma_з - \gamma_р = 0{,}16 \cdot 10^3$ кг/м³;

γ — плотность электролита, приведенная к температуре 15° C, кг/м³.

Плотность электролита при изменении температуры подсчитывают по следующей формуле:

$$\gamma = \gamma_t - 0{,}7\,(15 - t),$$

где γ_t — плотность электролита, кг/м³.

Современные свинцовые аккумуляторные батареи, эксплуатируемые на автомобилях и тракторах, выходят из строя по следующим причинам:

коррозия решеток положительных пластин;

оплывание активной массы положительных пластин;

повышенный саморазряд;

необратимая сульфатация пластин.

Основной причиной отказа в работе свинцовых аккумуляторных батарей является коррозия решеток положительных пластин. При перезаряде батареи кислород, образующийся при электролизе воды, проникает через слой двуокиси свинца к поверхности решетки и окисляет ее. Кроме того, при повышенных температурах происходит дополнительное окисление решетки кислородом, входящим в состав двуокиси свинца. Окисленная решетка становится хрупкой и легко разрушается, особенно в условиях вибрации и тряски, вызывая разрушение пластины. С повышением температуры, силы тока и длительности перезаряда скорость коррозии решеток увеличивается.

Оплывание активной массы положительных пластин, т. е. отделение от пластин мельчайших кристаллов и зерен двуокиси свинца, является одной из причин преждевременного выхода из строя свинцовых аккумуляторов. При оплывании уменьшается количество активной массы, участвующей в реакциях, а вследствие этого снижается емкость аккумуляторов. Одновременно возрастает опасность замыкания пластин разной полярности через шлам, скапливающийся на дне секций моноблока.

Одной из причин, приводящих к преждевременному выходу батарей из строя, является повышенный саморазряд аккумуляторных батарей. Под саморазрядом понимают потерю аккумулятором емкости (6) из-за самопроизвольно протекающих внутри него химических процессов. Саморазряд происходит при образовании гальванических элементов между свинцом решетки и активной массой пластин в присутствии электролита, наличии примесей в материале пластин и электролите, а также при возникновении разности потенциалов по высоте пластин из-за различной плотности электролита около нижней и верхней части пластин.

Нормальный саморазряд или потеря емкости свинцовых стартерных батарей после бездействия в течение 14 суток при температуре окружающей среды 20 ± 5° С должна быть не более 10%. Большая, чем указанная, потеря емкости характеризует наличие повышенного саморазряда батареи, который происходит из-за частичных коротких замыканий в аккумуляторах и на крышках батареи.

Короткие замыкания пластин внутри аккумуляторов являются следствием повреждения сепараторов или накопления значительного количества шлама на дне секций моноблока, вызванные оплыванием активной массы пластины. Наличие коротких замыканий в аккумуляторе резко ухудшает его работу.

Небольшой срок службы свинцовых аккумуляторных батарей, особенно в тяжелых условиях эксплуатации, приводит к необходимости замены их (в первую очередь на тракторах) на щелочные батареи (таблеточные), срок службы которых в 3—4 раза выше.

§ 6. Основы теории электрических стартеров

Свойства электродвигателей постоянного тока зависят от способа возбуждения и оцениваются по рабочим (скоростным, моментным, мощностным) и механическим характеристикам.

Из курса электрических машин известно, что обратная ЭДС $E_я$, индуктируемая в обмотке якоря электрической машины постоянного тока, определяется по формуле

$$E_я = \frac{pN}{60a} n\Phi = c_e n\Phi, \tag{7}$$

где p — число пар полюсов;
N — число активных проводников обмотки якоря;
a — число пар параллельных ветвей обмотки якоря;
n — частота вращения якоря;
Φ — основной магнитный поток, проходящий через воздушный зазор и якорь электрической машины;
$c_e = \frac{pN}{60a}$ — постоянная машины, не зависящая от режима работы.

Из формулы (7) частота вращения якоря

$$n = E_я/(c_e\Phi).$$

Электромагнитный вращающий момент M, создаваемый силами взаимодействия магнитного поля и тока $I_я/2a$ в проводниках обмотки якоря,

$$M = \frac{pN}{2\pi a} I_я\Phi = c_м I_я\Phi, \tag{8}$$

где $c_м = \frac{pN}{2\pi a}$ — постоянная электрической машины.

Из расчетной схемы питания стартерного электродвигателя (рис. 14) следует

$$E_я = E_а - \Delta U_щ - I_я(R_а + R_{пр} + R_я + R_с) = E_а - \Delta U_щ - I_я \sum R_я,$$

где $\Delta U_щ$ — падение напряжения в щеточном контакте;
$I_я$ — ток в обмотке якоря;
$R_{пр}$ — сопротивление стартерной сети;
$R_я$ — сопротивление обмотки якоря;
$R_с$ — сопротивление последовательной обмотки возбуждения.

Напряжение на зажимах батареи

$$U_а = E_а - I_я R_а,$$

а на зажимах стартера

$$U_{ст} = U_а - I_я R_{пр}.$$

Падение напряжения в стартерной сети не должно превышать 2 В на 1000 А, т. е. сопротивление стартерных проводов и массы должно быть меньше 0,002 Ом.

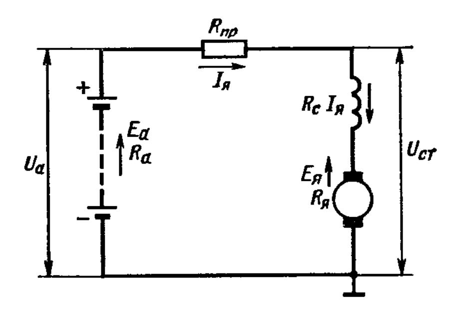
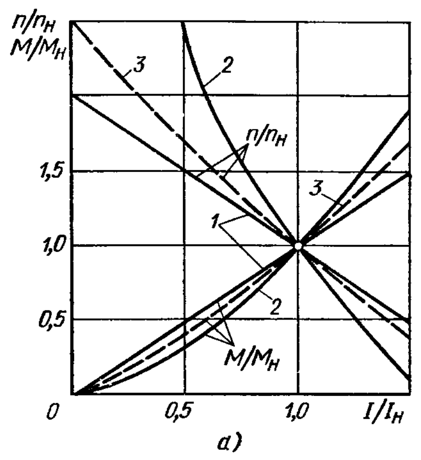


Рис. 14. Расчетная схема питания стартерного электродвигателя

Сопротивление в щеточном контакте $R_щ$ зависит от частоты вращения и тока якоря. При расчете стартерных электродвигателей падение напряжения в щеточном контакте принимают постоянным и равным 1,0—1,5 В для щеток марки МГСО и МГС-20, а для щеток марки МГС-5—2,5 В.

В электродвигателях с параллельным возбуждением ток в обмотке возбуждения при изменении тока в якоре меняется незначительно. Поэтому, пренебрегая внутренним падением напряжения источника питания и размагничивающим действием реакции якоря, приближенно можно считать, что магнитный поток не зависит от нагрузки. При этом условии скоростные, моментные и механические характеристики будут линейными (рис. 15).

Сила тока в обмотке возбуждения стартерного электродвигателя с последовательным возбуждением равна силе тока якоря. Следовательно, магнитный поток является некоторой функцией тока якоря и нагрузки электродвигателя.



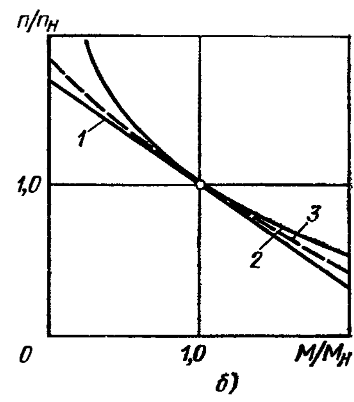


Рис. 15. Характеристики электродвигателей постоянного тока с параллельным возбуждением в относительных координатах:

а — скоростные и моментные характеристики; *б* — механические характеристики; *1* — параллельное возбуждение; *2* — последовательное возбуждение; *3* — смешанное возбуждение

При малых нагрузках, когда магнитная система не насыщена, магнитный поток пропорционален току $\Phi = k_\Phi I_я$, а электромагнитный вращающий момент — квадрату тока, т. е. моментная характеристика имеет форму параболы. В этом случае из формулы (8) следует, что

$$I_я = \sqrt{\frac{M}{c_м k_\Phi}}, \qquad (9)$$

где k_Φ — коэффициент пропорциональности магнитного потока силе тока возбуждения.

Механическая характеристика, так же как и скоростная, с учетом формулы (9) близка по форме к гиперболе

$$n = \frac{E_а - \Delta U_щ - I_я \sum R_я}{c_e \Phi} = \frac{E_а - \Delta U_щ}{c_e \sqrt{\frac{k_\Phi M}{c_м}}} - \frac{\sum R_я}{c_e k_\Phi}.$$

По мере насыщения магнитной системы влияние $I_я$ на магнитный поток уменьшается. Скоростная, моментная и механическая характеристики приближаются к линейным.

При равных значениях номинального момента $M_н$ электродвигатели с последовательным возбуждением по сравнению с электродвигателями с параллельным возбуждением развивают большие моменты в режиме короткого замыкания. Значительная степень возрастания вращающего момента при увеличении тока является одной из причин использования электродвигателей с последовательным возбуждением в качестве стартерных. В электродвигателях с параллельным возбуждением ток возбуждения и вращающий момент зависят от напряжения на зажимах стартера. В стартерных электродвигателях с последовательным возбуждением вследствие насыщения магнитной системы падение напряжения на зажимах аккумуляторной батареи на величине момента полного торможения сказывается меньше.

Устойчивость работы стартерного электропривода зависит от согласованности механических характеристик стартерного электродвигателя и двигателя внутреннего сгорания. Наличие резко падающей (мягкой) механической характеристики обусловливает устойчивую работу стартерных электродвигателей с последовательным возбуждением. «Мягкие» механические характеристики особенно благоприятны для работы в условиях значительного изменения нагрузочного момента, что имеет место при пуске поршневых двигателей внутреннего сгорания. При изменении нагрузочного момента в широких пределах мощность и потребляемый от источника питания ток электродвигателей с последовательным возбуждением изменяются в меньшем диапазоне, чем у электродвигателей с параллельным возбуждением. Это создает более благоприятные условия для работы стартерной аккумуляторной батареи.

Сила тока якоря и магнитный поток с понижением нагрузки на валу электродвигателя с последовательным возбуждением уменьшаются и при приближении к режиму холостого хода стремятся к нулю. Частота вращения якоря при этом возрастает, и в режиме холостого хода она может достигнуть опасных по своим механическим последствиям значений. При высоких частотах вращения могут иметь место разрушение коллектора, разрыв бандажей и повреждение обмоток якоря. Стартерные электродвигатели должны быть рассчитаны на работу в режиме холостого хода и выдерживать нагрузки, которые возможны при частотах вращения от 4000 до 10 000 об/мин.

Сила тока, потребляемого стартерным электродвигателем с последовательным возбуждением, равна силе тока якоря. В цепи питания стартерного электродвигателя со смешанным возбуждением сила тока равна

$$I = I_я + I_ш,$$

где $I_ш = U_{ст}/R_ш$ — ток в параллельной обмотке возбуждения; $R_ш$ — сопротивление параллельной обмотки возбуждения.

Сила тока в параллельной обмотке обычно не превышает 2—5% суммарной силы тока, потребляемого стартерными электродвигателями со смешанным возбуждением в режиме номинальной мощности. Поэтому приближенно можно считать $I = I_я$.

Магнитный поток в стартерных электродвигателях со смешанным возбуждением образуется токами последовательной и параллельной обмоток возбуждения. Согласованное включение параллельной обмотки возбуждения позволяет снизить частоту вращения в режиме холостого хода, так как при стремлении магнитного потока, создаваемого последовательной обмоткой, к нулю магнитный поток параллельной обмотки возбуждения имеет конечное значение.

Подводимая к стартерному электродвигателю мощность

$$P_1 = U_{ст} I = U_{ст} (I_я + I_щ).$$

Электромагнитная мощность равна

$$P = E_я I_я = (E_а - \Delta U_щ) I_я - I_я^2 \sum R_я.$$

Экстремальное значение функции $P(I_я)$ позволяет определить силу тока якоря $I_{яP\max}$, соответствующего максимальной электромагнитной мощности,

$$I_{яP\max} = \frac{E_а - \Delta U_щ}{2\sum R_я} = 0{,}5 I_к, \quad (10)$$

где $I_к = \dfrac{E_а\Delta - U_щ}{\sum R_я}$ — сила тока в режиме полного торможения стартерного электродвигателя, когда частота вращения якоря и индуктируемая в его обмотках обратная ЭДС равны нулю.

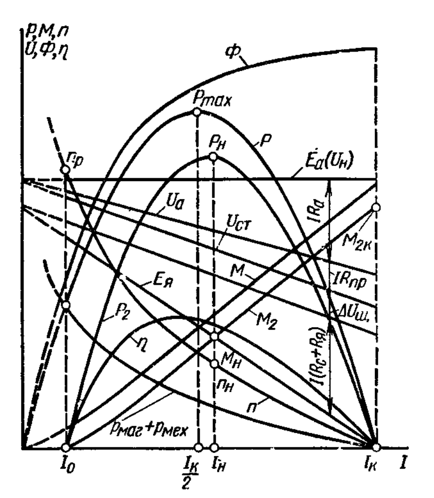


Рис. 16. Рабочие характеристики стартерного электродвигателя с последовательным возбуждением

Следовательно, зависимость электромагнитной мощности стартерного электродвигателя от силы тока представляет собой симметричную параболу с максимумом при силе тока, равной половине силы тока замыкания (рис. 16). Максимальное значение электромагнитной мощности с учетом соотношения (10) равно

$$P_{max} = (E_а - \Delta U_щ)^2/(4 \sum R_я). \quad (11)$$

Электромагнитная мощность меньше мощности, подводимой к стартерному электродвигателю, на величину электрических потерь в меди обмоток якоря и возбуждения и в щеточном контакте

$$P = (U_{ст} - \Delta U_щ) I_я - I_я^2(R_с + R_я) = U_{ст}I - \Delta U_щ I_я - I_я^2 R_с - I_я^2 R_я - I_ш^2 R_ш = P_1 - P_{эл},$$

где $P_{эл}$ — суммарные электрические потери.

Полезная мощность на валу стартерного электродвигателя меньше электромагнитной мощности на суммарную величину механических $P_{мех}$ и магнитных $P_{маг}$ потерь

$$P_2 = P - P_{мех} - P_{маг} = P_1 - P_{эл} - P_{мех} - P_{маг} = P_1 - \Delta P,$$

где $\Delta P = P_{эл} + P_{мех} + P_{маг}$ — сумма потерь в стартерном электродвигателе.

Потери на трение о воздух и вентиляционные потери в стартерных электродвигателях относительно малы и в расчет не принимаются. Поэтому механические потери включают в себя потери на трение в подшипниках и в щеточном контакте.

Потери на трение в подшипниках стартерных электродвигателей

$$\Delta P_п = 0{,}03 M_{P_{max}} \frac{\pi n}{30} = \pi M_{P_{max}} n_я \cdot 10^{-3},$$

где $M_{P\,max}$ — вращающий момент, соответствующий максимальной мощности (11).

Потери на трение в щеточном контакте

$$\Delta P_щ = k_{тр} F_щ N_щ v_к,$$

где $k_{тр}$ — коэффициент трения, равный 0,3;

$F_щ$ — сила давления щетки на коллектор (сила давления щеточных пружин), Н;

$v_к$ — окружная скорость коллектора, м/с;

$N_щ$ — число щеток.

Магнитные потери складываются из потерь на перемагничивание и вихревые токи в сердечнике якоря и зубцовой зоне и зависят от частоты перемагничивания стали, материала и толщины пластин пакета якоря, а также от ряда технологических факторов. Магнитные потери $P_{маг}$ (Вт) на каждом из указанных участков магнитной системы стартерного электродвигателя можно рассчитать по формуле

$$P_{маг} = 2GB^2 \left[4{,}4 \frac{f}{100} + 5{,}6 \left(\frac{\Delta f}{50}\right)^2\right],$$

где G — масса тела якоря или зубцов, определяемая по геометрическим размерам пакета якоря, кг;

B — магнитная индукция на соответствующих участках магнитной системы, Т;

f — частота перемагничивания стали, 1/с;

Δ — толщина пластин пакета якоря, мм.

Полезный момент на валу стартерного электродвигателя $M_2 = (30P_2)/(\pi n_я)$.

КПД электродвигателя

$$\eta_{ст} = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_1 - P_{эл} - P_{мех} - P_{маг}}{P_1} = 1 - \frac{\Delta P}{P_1}.$$

КПД стартерных электродвигателей в режиме номинальной мощности равен 0,4—0,6. С ростом мощности электродвигателя относительная доля потерь в нем, как правило, уменьшается, и КПД возрастает. При изменении режима работы стартерного электродвигателя меняется как подводимая мощность, так и мощность потерь. В режимах холостого хода и полного торможения полезная мощность и КПД равны нулю (см. рис. 16). С ростом нагрузки на стартерный электродвигатель КПД вначале быстро возрастает до максимума, а затем уменьшается. Нагрузка и ток якоря, при которых КПД достигает максимального значения, зависят от соотношения между отдельными составляющими потерь и характера их изменения с изменением нагрузки.

Напряжение на зажимах аккумуляторной батареи при работе в стартерном режиме зависит от силы разрядного тока и внутреннего сопротивления батареи. С повышением степени разряженности аккумуляторной батареи, снижением емкости и температуры ее сопротивление и внутреннее падение напряжения возрастают. Поэтому при одном и том же значении тока якоря стартерного электродвигателя обратная ЭДС и частота вращения якоря уменьшаются (рис. 17)

$$n'_я = \frac{E'_я}{E_я} n_я = \frac{U'_а - \Delta U_щ - I_я R_{пр} - I_я R_с - I_я R_я}{U_а - \Delta U_щ - I_я R_{пр} - I_я R_с - I_я R_я} n. \quad (12)$$

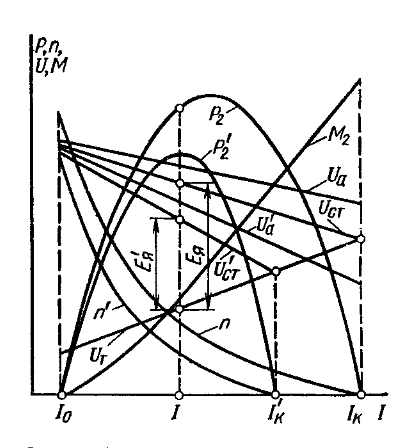


Рис. 17. Зависимость рабочих характеристик стартерного электродвигателя от емкости и состояния аккумуляторной батареи

Электромагнитный вращающий момент стартерных электродвигателей с последовательным возбуждением, как и величина магнитного потока является только функцией силы тока якоря и не зависит от напряжения источника питания $U_а$. Поэтому функция M ($I_я$) при изменении вольт-амперной характеристики аккумуляторной батареи остается постоянной. При изменении емкости и состояния аккумуляторной батареи в широких пределах увеличение или уменьшение частоты вращения сравнительно невелико, сумма магнитных и механических потерь меняется незначительно. Поэтому изменением полезного момента на валу при различных частотах вращения можно пренебречь и считать функцию $M_2(I_я)$ независимой от напряжения источника питания. В этом случае с учетом (12)

$$P_2' = \frac{M_2 n'}{M_2 n} P_2 = \frac{E_я'}{E_я} P_2. \tag{13}$$

Формулы (12) и (13) позволяют пересчитывать рабочие характеристики стартерных электродвигателей с одной вольт-амперной характеристики источника питания на любую другую.

Влияние емкости, состояния аккумуляторной батареи и сопротивления стартерной сети на рабочие характеристики стартерных электродвигателей показывает необходимость однозначного установления условий, при которых рассчитывают номинальные параметры. Номинальную мощность, соответствующие ей частоту и вращающий момент электростартеров по ГОСТ 9944—77 определяют по номинальным рабочим характеристикам, снимаемым с расчетной вольт-амперной характеристикой источника питания

$$U = U_н (1 - a_н I / C_{20}), \tag{14}$$

где $U_н$ — номинальное напряжение стартера (6, 12, 24 В);

C_{20} — номинальная емкость аккумуляторной батареи в 20-часовом режиме разряда, А·ч;

$a_н$ — коэффициент, равный 0,05 для батарей емкостью до 100 А·ч, 0,057 — для батарей емкостью более 100 А·ч, а также 0,038 и 0,046 соответственно для батарей 6СТ—55ЭМ и 6СТ—190ТР.

Номинальная мощность — это наибольшая полезная мощность, развиваемая стартерным электродвигателем в кратковременном

режиме работы. Расчетная вольт-амперная характеристика источника питания соответствует характеристике полностью заряженной аккумуляторной батареи при температуре 25° С на первой попытке стартования. При снятии номинальных рабочих характеристик расчетное напряжение приложено непосредственно к зажимам стартерного электродвигателя.

ГОСТ 9944—77 устанавливает также пусковую мощность — наибольшую мощность в кратковременном режиме работы при питании стартерного электродвигателя от аккумуляторной батареи при температуре электролита —15° С и начальной степени разряженности 25%, в конце третьей попытки стартования и с учетом падения напряжения в стартерной сети.

§ 7. Конструкция и принцип работы электростартеров

Электрические стартеры можно классифицировать по способу возбуждения стартерных электродвигателей, типу механизма привода и степени защиты от проникновения посторонних тел и воды.

В зависимости от способа возбуждения различают стартерные электродвигатели с последовательным (рис. 18, *а*, *б*, *е*) и смешанным (рис. 18 *в*, *г*, *д*) возбуждением. Наибольшее распространение получили стартерные электродвигатели с последовательным включением обмотки возбуждения в цепь питания якоря. Для ограничения частоты вращения в режиме холостого хода на одном или двух полюсах индуктора располагают параллельную обмотку возбуждения. В зависимости от конструкции стартерного электродвигателя параллельную обмотку возбуждения присоединяют к выводной клемме стартера или после последовательной обмотки к изолированной щетке.

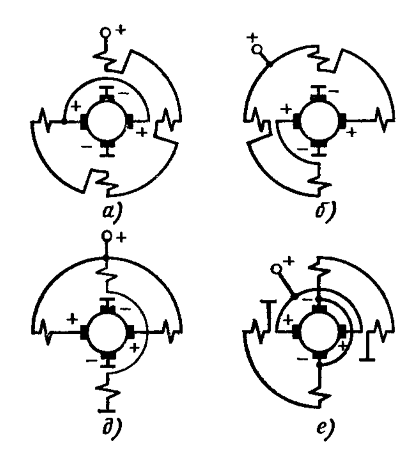
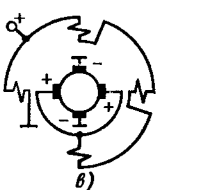
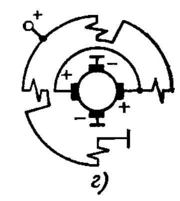




Рис. 18. Схемы соединения катушек возбуждения стартерных электродвигателей:

а, б, е — с последовательным возбуждением: *в, г, д* — со смешанным возбуждением

Магнитодвижущая сила (МДС) параллельных обмоток возбуждения у стартерных электродвигателей со смешанным возбуждением составляет 10—40% суммарной МДС всех катушек. Из-за снижения частоты вращения в режиме холостого хода в стартерах со смешанным возбуждением уменьшается износ трущихся поверхностей и улучшаются условия работы муфты свободного хода механизма привода.

Катушки в обмотках могут быть соединены между собой как последовательно (рис. 18 *а*, *в*, *г*, *е*), так и параллельно (рис. 18 *б*, *д*).

Автомобильные и тракторные электростартеры, имея идентичные по конструкции электродвигатели, могут существенно отличаться по конструкции приводных механизмов. По типу и принципу работы механизма привода можно выделить следующие основные группы стартеров:

с принудительным механическим или электромеханическим перемещением шестерни привода;

с принудительным электромеханическим вводом шестерни в зацепление с венцом маховика и самовыключением шестерни после пуска двигателя;

с инерционным перемещением шестерни;

с электромагнитным вводом шестерни в зацепление за счет осевого перемещения якоря.

На отечественных автомобилях и тракторах применяются стартеры с принудительным вводом шестерни в зацепление при помощи рычажного устройства, включаемого водителем. Для предотвращения разноса якоря после пуска двигателя внутреннего сгорания на валу стартеров с принудительным перемещением шестерни привода устанавливают муфты свободного хода, которые передают усилие от якоря к шестерне и проскальзывают, когда шестерня вращается маховиком двигателя. Наличие муфт свободного хода позволяет при пуске двигателя в условиях низких температур не выключать стартер до тех пор, пока не начнут работать все цилиндры, т. е. осуществить пуск с одной попытки стартования, сократить число включений стартера, время пуска и уменьшить расход энергии аккумуляторной батареи.

Надежность работы муфт свободного хода снижается с повышением мощности стартера. Поэтому в стартерах большой мощности устанавливают комбинированные приводные механизмы с принудительным вводом шестерни в зацепление и ее автоматическим инерционным выключением.

Преимуществами инерционных приводов являются относительная простота конструкции, малые размеры и стоимость. Однако включение шестерни сопровождается значительными ударными нагрузками, что ограничивает область их применения стартерами мощностью до 1 кВт.

Зацепление шестерни при осевом перемещении якоря за счет МДС полюсов стартерного электродвигателя используется за рубежом на стартерах мощностью 3—5 кВт. Стартеры имеют ком-

пактную конструкцию, хорошо компонуются на двигателях, но имеют повышенный расход меди и работают ненадежно при стоянке автомобилей на уклонах.

Электростартеры, как правило, выпускаются в закрытом или герметизированном исполнении. Это исключает попадание во внутреннее пространство стартера грязи, воды, влаги и т. п. Степень защиты стартера от проникновения посторонних тел и воды должна соответствовать ГОСТ 14254—69 и стандартам на отдельные виды изделий. Для современных стартеров, особенно для стартеров, предназначенных для тяжелых условий работы на большегрузных автомобилях и на тракторах, характерно усиление герметизации. Герметизация обеспечивается установкой в местах разъема специальных резиновых колец, пластмассовых втулок и уплотнительных прокладок из мягких пластических материалов.

Конструктивное исполнение стартера определяется также способом крепления его на двигателе. Обычно стартер располагают сбоку картера двигателя, при этом крышка со стороны привода обращена в сторону маховика и входит в отверстие картера сцепления.

Крепление стартера на двигателе должно обеспечивать сохранение постоянства расстояния между центрами шестерни привода и зубчатого венца маховика при снятии стартера и повторной установке. Этому условию удовлетворяет фланцевое крепление. Конфигурация и размеры присоединительного фланца на крышке со стороны привода стандартизованы. Для правильной установки стартера на крышке предусмотрен центрирующий буртик, который должен плотно входить в посадочное отверстие картера сцепления. При фланцевом креплении крепежный фланец несет большую нагрузку как от усилий, возникающих при передаче вращающего момента, так и от массы стартера. Поэтому для стартеров большой мощности осуществляют крепление на подушке двигателя посредством натяжной ленты. Установка стартера на подушке упрощает конструкцию крышки со стороны привода, но повышает требования к качеству изготовления корпуса стартера. Для предотвращения проворачивания в канавке на корпусе стартера и в подушке двигателя установлены специальные шпонки.

Для снижения частоты вращения якоря в режиме холостого хода и быстрой остановки электростартера после отключения его от источника питания (продолжительность вращения якоря по инерции без торможения составляет 10—13 с) применяют механические тормозные устройства в виде двух карболитовых колодок или трущейся конической пары.

Конструктивно электростартер состоит (рис. 19) из корпуса *26* с полюсами и катушками *7* обмотки возбуждения, якоря *25* с коллектором *10* и обмоткой, крышки *24* со щеткодержателями *23* и щетками *12*, крышки *1* со стороны привода, механизма привода и тягового электромагнитного реле *13*

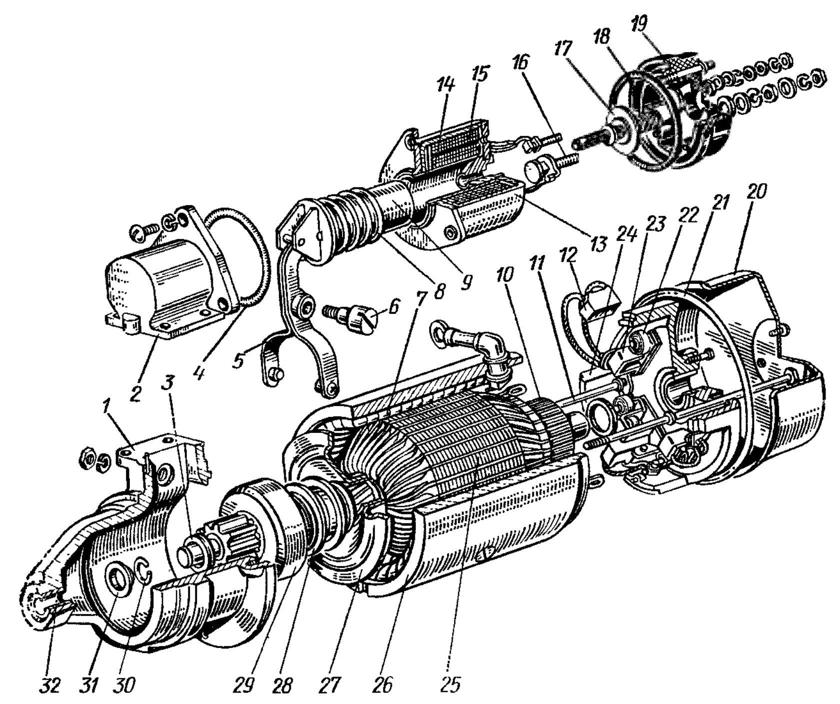


Рис. 19. Стартер СТ 230Б:

1 — крышка со стороны привода; *2* — основание тягового реле; *3* — втулка упорная; *4* — кольцо уплотнительное; *5* — рычаг включения привода; *6* — ось рычага включения привода; *7* — катушка обмотки возбуждения; *8* — пружина возвратная; *9* — якорь тягового реле; *10* — коллектор; *11* — болт стяжной; *12* — щетка; *13* — тяговое реле; *14* — втягивающая обмотка реле; *15* — удерживающая обмотка реле; *16* — болт контактный; *17* — диск контактный подвижный; *18* — кольцо уплотнительное; *19* — крышка реле; *20* — кожух защитный; *21* — кольцо уплотнительное; *22* — пружина щетки; *23* — щеткодержатель; *24* — крышка со стороны коллектора; *25* — якорь; *26* — корпус; *27* — опора промежуточная; *28* — втулка отвода; *29* — муфта свободного хода; *30* — кольцо замковое; *31* — шайба упорная; *32* — вкладыш подшипника

Корпус стартера, полюсы, катушки возбуждения. Корпусы электростартеров изготовляют из труб (СТ 117 и СТ 103) или стальной полосы с последующей сваркой стыка. В некоторых корпусах предусмотрены окна для доступа к щеткам и осмотра коллектора. Во избежание попадания в стартер грязи и воды окна снаружи закрыты защитной лентой с водостойкой картонной прокладкой.

Корпус 26 (см. рис. 19) стартера СТ 230Б выполнен без окон и имеет отверстие для вывода обмотки возбуждения, установочные прорези на торцах и конусообразную проточку, на поверхности которой расположено уплотнительное кольцо *21*, прижатое защитным кожухом *20*.

Четыре полюса крепят к корпусу посредством винтов. Форма полюсов позволяет применять прогрессивную технологию их изготовления из профильного проката. Винты крепления полюсов для

предохранения от самоотвинчивания фиксируют кернением в шлицы под отвертку.

Катушки возбуждения 7, намотанные неизолированным медным проводом прямоугольного сечения, закреплены на полюсах. Витки катушек изолированы электроизоляционным картоном толщиной 0,3—0,4 мм. Снаружи катушки изолированы хлопчатобумажной лентой толщиной 0,25 мм и шириной 15 мм, пропитанной лаком После пропитки и сушки толщина внешней изоляции катушки составляет 1,0—1,5 мм.

Обмотка возбуждения разделена на две параллельные ветви, в каждую из которых включены последовательно две катушки. Преимуществом попарно-параллельного соединения катушек в стартерах является уменьшение сечения провода, что позволяет при неизменной высоте провода уменьшить его ширину и упростить процесс намотки катушки. Ширина катушки при этом практически не изменяется. При попарно-параллельном соединении сила тока в каждой параллельной ветви равна половине силы тока якоря, поэтому для получения такой же МДС обмотки возбуждения следует вдвое увеличить число витков в каждой катушке.

Схема соединения катушек стартера СТ 221 смешанного возбуждения приведена на рис. 18, *д*. Катушки параллельной обмотки выполнены из круглого изолированного провода. Параллельная и последовательная обмотки возбуждения имеют отдельные выводы, изолированные от корпуса (рис. 20) втулкой и соединенные с главными контактами тягового реле. Другой вывод параллельной обмотки при помощи наконечника присоединен к щеткодержателю.

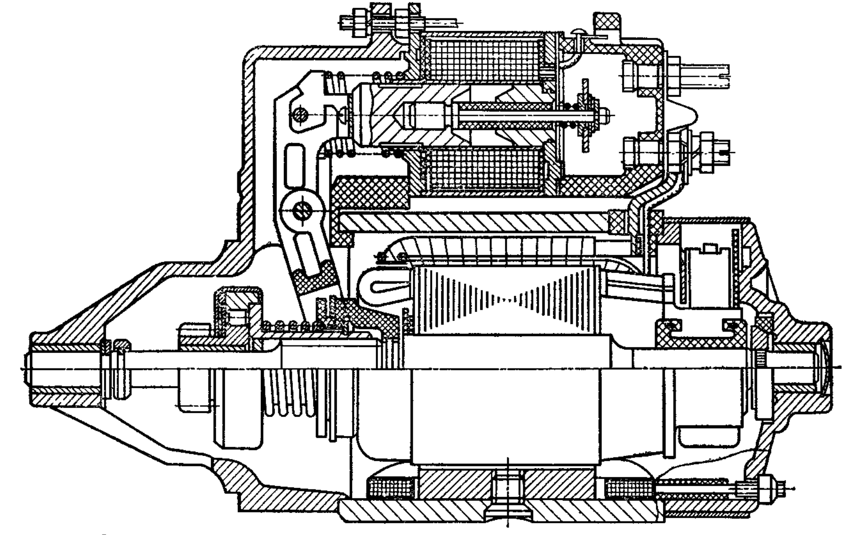


Рис. 20. Стартер СТ 221

Якорь стартерного электродвигателя. Якорь состоит из стального вала, пакета стальных пластин (сердечника) и коллектора, напрессованных на вал, а также обмотки, уложенной в пазы пакета.

Вал якоря работает в сложных условиях. На вал действуют скручивающее усилие от передаваемого вращающего момента, изгибающий момент от собственной массы и момент, обусловленный дисбалансом вращающихся частей. При несимметричном воздушном зазоре появляется добавочный момент, связанный с односторонним магнитным притяжением. Вал вращается в опорах с металлокерамическими или бронзографитовыми подшипниками.

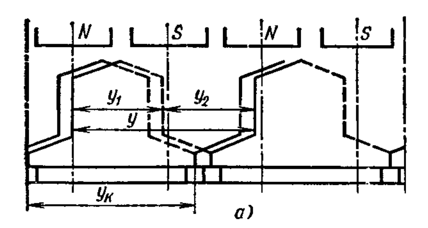
Пакет якоря для сокращения потерь на вихревые токи собран из штампованных пластин листовой стали толщиной 1,2 мм (у стартера СТ 221 толщина пластин равна 1 мм). Для запрессовки пакета на валу якоря имеется продольная накатка.

Большее распространение в стартерных электродвигателях получили волновые обмотки, которые имеют преимущества перед петлевыми обмотками.

Полной магнитной симметрии в электрической машине достигнуть трудно, так как в результате износа вала и подшипников, неточной обработки радиальных поверхностей якоря и полюсов воздушный зазор различен. Индукция в отдельных частях полюса и якоря также различна. В петлевой обмотке проводники каждой параллельной ветви расположены под определенной парой полюсов, поэтому любая несимметрия магнитной системы приводит к неравенству ЭДС в параллельных ветвях и требует применения специальных уравнительных соединений. В волновой обмотке проводники каждой параллельной ветви равномерно распределены под всеми полюсами, поэтому необходимость в уравнительных соединениях отпадает.

Основным отличием волновой обмотки от петлевой является то, что число параллельных ветвей не зависит от числа пар полюсов машины и равно двум. Поэтому в четырехполюсной машине число активных проводников при волновой обмотке и прочих равных условиях в 2 раза меньше, чем при петлевой. Это позволяет иметь меньшее число пазов (меньшее число проводников в пазу) и тем самым увеличить коэффициент заполнения паза. С уменьшением числа активных проводников сокращается число коллекторных пластин. При одинаковом диаметре коллектора, благодаря меньшему числу пластин, их толщина при волновой обмотке будет больше, что улучшает условия крепления концов секций, выполненных из провода большого сечения, в петушках коллекторных пластин.

Число коллекторных пластин K равно числу секций обмотки якоря, а число секций волновой обмотки в стартерных электродвигателях равно числу пазов $z_п$. Обмотки якорей стартерных электродвигателей выполняют в виде отдельных секций. Конец одной секции и начало другой присоединяют к одной коллекторной пла-



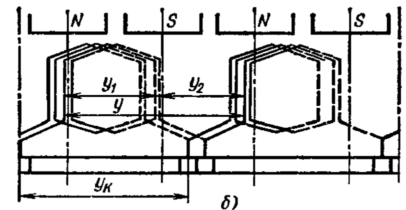


Рис. 21. Схемы волновых обмоток:

а — с одновитковыми секциями; *б* — с двухвитковыми секциями

стине. В зависимости от мощности электродвигателя секции могут быть одно- или двухвитковыми (рис. 21). Двухвитковые секции применяются в стартерных электродвигателях малой мощности.

Простая волновая обмотка может быть выполнена лишь при определенных соотношениях между числом секций и числом пар полюсов p. Это возможно при выполнении соотношения $yp = K \pm 1$. Тогда результирующий шаг и шаг по коллектору $y = y_к = (K \pm 1)/p$.

Так как результирующий шаг должен быть выражен целым числом, простая волновая обмотка в четырехполюсных стартерных электродвигателях может быть выполнена только при нечетном числе пазов и коллекторных пластин. В противном случае возникают мертвые секции.

Первый частичный шаг, определяющий ширину секции по пазам, равен

$$y_1 = (z_п/2p) \pm \varepsilon.$$

Значение ε выбирают таким образом, чтобы y_1 составлял целое число.

Второй частичный шаг, определяющий расстояние между концом одной и началом следующей секции, равен

$$y_2 = y - y_1.$$

Одновитковые секции волновых обмоток выполняют из прямоугольного провода марки ПММ. Для изоляции проводников в пазах один от другого и от сердечника применяют электроизоляционный картон. В полузакрытые пазы секции закладывают с торца пакета якоря. Волновые обмотки с двухвитковыми секциями выполняют из круглого изолированного провода. Концы секций укладывают в прорези петушков коллекторных пластин, а для лучшего крепления в петушках их чеканят и пропаивают. В стартерах большой мощности (СТ 103) концы секций обмотки якоря в прорезях петушков приваривают вольфрамом в нейтральной среде (азоте).

На лобовые части обмотки якоря, а на больших стартерах с открытыми пазами и на пакет якоря, накладывают бандажи для предотвращения выброса проводников из пазов под действием центро-

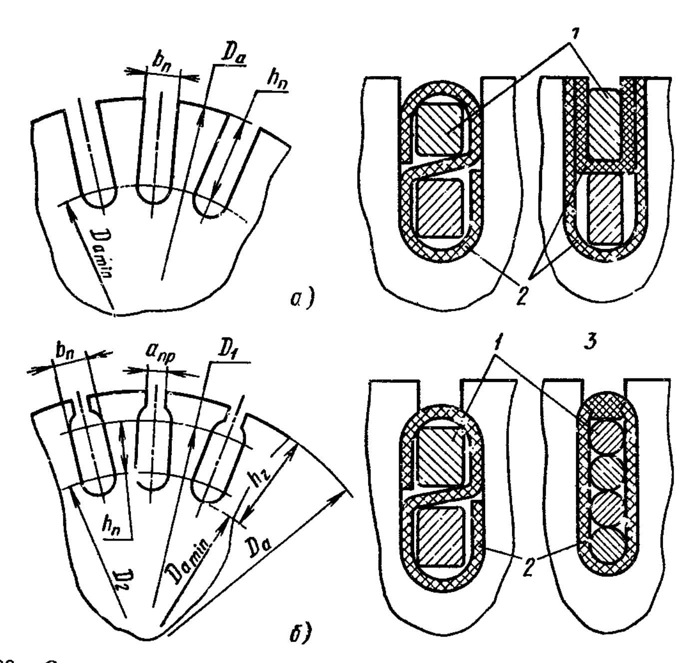


Рис. 22. Схемы пазов электростартеров:

а — открытые; *б* — полузакрытые; *1* — проводники обмотки якоря; *2* — изоляция пазовая; *3* — клин

бежных сил. Бандаж состоит из прокладки, выполненной из электроизоляционного картона, на которую намотана проволока или хлопчатобумажный шнур. Витки бандажа скрепляют скобами, укладываемыми на прокладку перед намоткой проволоки, и пайкой. Лобовые части секций изолируют одну от другой электроизоляционным картоном или изоляционными трубками.

Число пазов якорей автотракторных электростартеров равно 19—31. С повышением числа пазов уменьшается ширина зубца и возрастает магнитная индукция в нем. При малом числе пазов увеличиваются сечение зубца, коэффициент заполнения паза, объем якоря, ухудшаются условия коммутации.

В якорях электростартеров применяют открытые и полузакрытые пазы прямоугольной (рис. 22) или, для некоторых стартеров малой мощности, грушевидной формы. Преимуществом прямоугольного паза является высокий коэффициент заполнения его прямоугольным обмоточным проводом. Зубцы якоря при такой форме паза имеют трапецеидальное сечение и неравномерное распределение индукции по высоте. В открытых пазах затруднено крепление проводников обмотки якоря, поэтому они применяются редко.

В конструктивном, технологическом и эксплуатационном отношении наиболее ответственным узлом стартерных электродвига-

телей является коллектор, составленный из медных пластин (ламелей). Из-за высоких частот вращения якоря, большой плотности тока в щеточном контакте, наличия вибраций коллекторы стартерных электродвигателей испытывают значительные механические, тепловые и электрические нагрузки.

В автотракторных электростартерах применяют коллекторы сборные (на металлической втулке) с цилиндрической рабочей поверхностью и арочным креплением, на пластмассовой основе с цилиндрической рабочей поверхностью, торцовые на пластмассовой основе.

Сборный цилиндрический коллектор (рис. 23, *а*) набирают на металлической втулке *3* из отдельных пластин *5* профильной твердотянутой меди. Для изоляции пластин используют прокладки из миканита ($\Delta_к = 0{,}4$—$0{,}8$ мм). Арочное крепление коллекторных пластин в сборных цилиндрических коллекторах осуществляют посредством зажима коллекторных пластин через металлические *1* и миканитовые *2* конусные кольца по боковым поверхностям ласточкиного хвоста при помощи гайки *6*.

На стартерах мощностью до 3,5 кВт применяют коллекторы на пластмассовой основе (рис. 23, *б*), которые имеют высокую прочность и меньшую трудоемкость изготовления. Армировочные кольца *7* выполнены из металла или пластмассы (на стартере СТ 230 из пресс-материала АГ-4С). Для изоляции коллекторных ламелей применяют пластины из миканита, слюдопласта или слюдинита толщиной 0,6—0,9 мм.

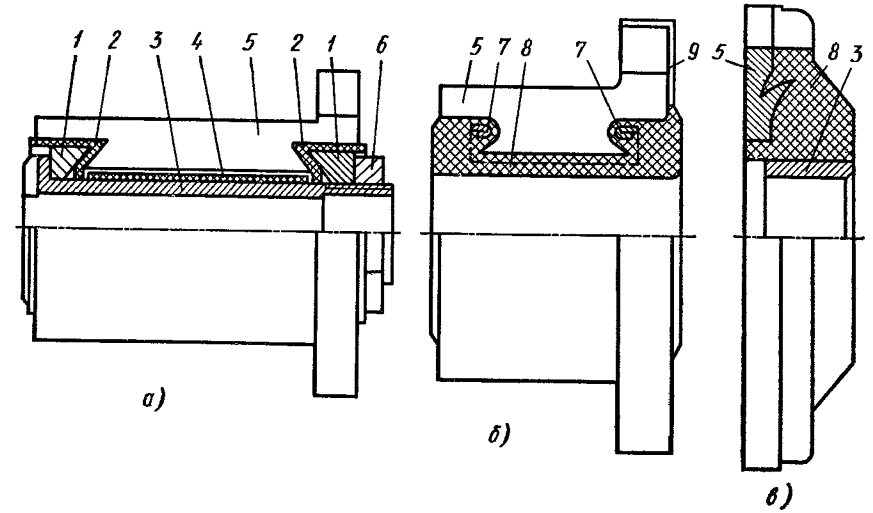


Рис. 23. Коллекторы электростартеров:

а — сборный цилиндрический на металлической втулке; *б* — цилиндрический на пластмассовой основе; *в* — торцовый на пластмассовой основе; *1* — кольца конусные зажимные; *2* — кольца конусные изоляционные; *3* — втулка металлическая; *4* — трубка изоляционная; *5* — пластины коллектора; *6* — гайка; *7* — кольцо армировочное; *8* — прессовочный изоляционный материал; *9* — пластина изоляционная

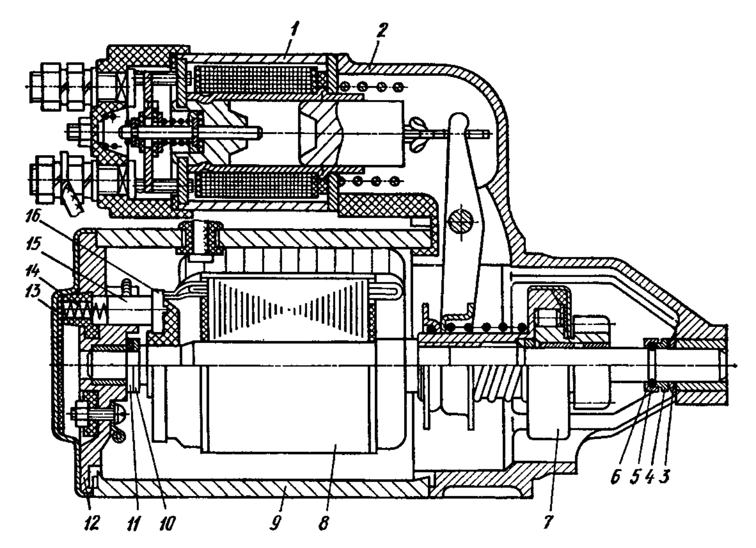


Рис. 24. Стартер с торцовым коллектором:

1 — тяговое электромагнитиое реле; *2* — крышка со стороны привода; *3* — кольцо упорное сферическое; *4* — шайба упорная; *5* — кольцо упориое; *6* — кольцо замковое; *7* — муфта свободного хода механизма привода; *8* — якорь; *9* — корпус; *10* — шайба металлическая; *11* — шайба текстолитовая; *12* — траверса; *13* — крышка со стороны коллектора; *14* — пружина цилиндрическая; *15* — щетка; *16* — коллектор торцовый

Торцовые коллекторы (рис. 23, *в*) по сравнению с цилиндрическими имеют меньшие размеры и металлоемкость. Их применение способствует стабильной и длительной работе щеточного контакта. Торцовые коллекторы обладают высокой механической прочностью, в них отсутствует дорогостоящая миканитовая изоляция. Для предохранения коллектора от разноса на тыльной поверхности коллекторных ламелей расположены опорные выступы, которые опрессовывают прессовочным изоляционным материалом. Применение торцовых коллекторов позволяет уменьшить массу и габаритные размеры стартеров и тем самым улучшить их технико-экономические показатели.

Обмотка якоря стартера СТ 368 с торцовым коллектором (рис. 24) присоединена к торцовому коллектору так же, как в стартерах с цилиндрическими коллекторами.

Крышка со стороны коллектора, щеткодержатели и щетки. Крышку со стороны коллектора электростартеров отливают из цинкового или алюминиевого сплава или штампуют из стали. В крышке стартера СТ 230Б, отлитой из алюминиевого сплава АЛ-4, установлен металлокерамический вкладыш, который перед сборкой пропитывают маслом. Для доступа к щеткам предусмотрены окна, закрываемые защитным кожухом.

На крышке закреплены четыре щеткодержателя радиального типа, в которых щетки расположены перпендикулярно поверхно-

сти коллектора. Щеткодержатели от крышки изолированы текстолитовыми прокладками толщиной 1,5 мм. Два щеткодержателя от крышки не изолированы. Конструкция щеткодержателя должна быть достаточно жесткой и противостоять действию вибрации и ускорений. Необходимо предусмотреть возможность свободной смены щеток.

Щетки размещены в стальных обоймах коробчатого типа с толщиной стенок 0,6—0,8 мм. На палец щеткодержателя надевают спиральную пружину, обеспечивающую прижатие щетки к коллектору. Зазор между щеткой и щеткодержателем обеспечивает свободное продольное перемещение щетки без значительных боковых колебаний, которые могут вызвать искрение и преждевременный износ щеток и коллектора. Высота стенок щеткодержателей, на которые щетки опираются боковыми поверхностями, равна 6—8 мм. В отечественных стартерах средняя величина зазора между коллектором и щеткодержателем равна 1,5—3,5 мм.

В стартерах с торцовыми коллекторами (рис. 24) щетки *15* расположены в траверсе *12*. К рабочей поверхности торцового коллектора *16* щетки прижаты посредством цилиндрических витых пружин *14*. Отсутствие окон на крышке со стороны торцового коллектора позволяет улучшить уплотнение щеточно-коллекторного узла. Недостатком стартеров с торцовыми коллекторами является наличие осевого усилия, передаваемого от цилиндрических пружин через коллектор и упорное кольцо крышке со стороны привода, что требует применения дополнительного сферического упорного кольца *3*. В некоторых зарубежных конструкциях стартеров с торцовыми коллекторами для компенсации или устранения осевых усилий применяют упорные подшипники или другие специальные устройства.

Надежность электрических машин постоянного тока в значительной степени определяется работоспособностью щеточно-коллекторного узла, что требует тщательного подбора щеток. На стартерах применяют меднографитовые щетки марок МГСО, МГС-20 ($U_н$ = 12 В) и МГС-5, МГС-51 ($U_н$ = 24 В). Щетки выполнены из сплава меди, графита, свинца и олова. Добавки свинца и олова способствуют улучшению коммутации, уменьшению износа коллектора и снижению падения напряжения под щетками.

Ресурс щетки при износе, определяемый высотой щетки, которая может быть изношена до ее замены, зависит от высоты щетки, глубины заделки канатика в тело щетки, высоты щеткодержателя и расстояния от щеткодержателя до коллектора. У отечественных стартеров высота щетки равна 14—21 мм.

Щетки имеют один или два канатика. Наконечники канатиков выполнены из мягкой латуни или меди, которые при помощи винтов присоединены к щеткодержателям. Срок службы и надежность работы щеточного контакта в значительной мере определяются начальным давлением пружины на щетку, а также характером изменения усилия при уменьшении высоты щетки вследствие износа.

Если давление на щетку меньше 5—6 Н, то контакт щетка—коллектор неустойчивый. Это повышает интенсивность искрения, обгорания коллектора и щетки, увеличивает падение напряжения под щеткой. При слишком большом давлении резко увеличивается механический износ щетки. Давление пружины на щетку у отечественных стартеров равно 3—12 Н/см² при начальных усилиях 8—16 Н. Число витков спиральных щеточных пружин, выполняемых из стальной ленты толщиной 0,4—0,65 мм и шириной 5—12 мм, составляет 2—6.

Размеры щеток выбирают по допустимой плотности тока в щеточном контакте. У стартеров напряжением 12 В в режиме номинальной мощности средняя плотность тока в щетке равна 50—90 А/см², у стартеров напряжением 24 В 35—55, а у тракторных стартеров 50—120 А/см².

Щетка не должна перекрывать более двух пластин. В противном случае при малом числе пазов коммутируемая секция испытывает влияние сильного магнитного поля. В то же время при уменьшении ширины щетки увеличивается искрение вследствие механических вибраций.

Волновая обмотка якоря с двумя параллельными ветвями независимо от числа пар полюсов позволяет ограничиться установкой двух щеток. Однако на большинстве стартеров отечественного и зарубежного производства устанавливают полное число щеточных узлов, что обеспечивает симметрию обоих ветвей обмотки якоря, уменьшает силу тока на щеткодержателе и длину коллектора. В стартерах большой мощности каждый щеткодержатель имеет по две щетки.

Сокращение числа щеточных узлов упрощает конструкцию стартера, но резко снижает работоспособность щеточно-коллекторного контакта. При волновой обмотке и полном числе щеточных узлов каждая коммутируемая секция замкнута накоротко через контур, образованный двумя щетками одной полярности. При малом числе щеточных узлов замыкание коммутируемой секции осуществляется через одну щетку, причем в коммутируемом контуре при четырех полюсах последовательно включены две секции. Это вдвое увеличивает наведенную ЭДС и повышает интенсивность искрения.

Обычно щетки установлены на геометрической нейтрали. На некоторых стартерах для улучшения коммутации и увеличения срока службы щеточно-коллекторного узла щетки смещают с геометрической нейтрали на небольшой угол против направления вращения.

Крышка со стороны привода. Крышки со стороны привода отлиты из алюминиевого сплава или чугуна. Конструктивное оформление крышки определяется типом привода, материалом, способом крепления стартера на двигателе и тягового реле на стартере. При фланцевом креплении на крышке предусмотрен установочный фланец с двумя или тремя отверстиями под крепежные

болты и центрирующий буртик. Отверстие в крышке позволяет шестерне привода входить в зацепление с венцом маховика.

Крышка имеет опору для оси рычага включения привода. В стартерах с тремя опорами вала якоря опора промежуточного подшипника иногда крепится к крышке со стороны привода.

Крепление крышек со стороны привода и со стороны коллектора к корпусу стартера осуществляется при помощи стяжных болтов. Для ввинчивания стяжных болтов в крышке со стороны привода предусмотрены приливы.

Приводные механизмы. Механизм привода или привод электростартера представляет собой устройство, обеспечивающее ввод и удержание шестерни стартера в зацеплении с венцом маховика во время пуска двигателя внутреннего сгорания, передачу необходимого вращающего момента коленчатому валу и предохранение якоря стартерного электродвигателя от разноса вращающимся маховиком после пуска двигателя.

Приводные механизмы электростартеров с принудительным механическим или электромеханическим перемещением шестерни имеют роликовые, фрикционные или храповые муфты свободного хода, которые передают вращающий момент от вала стартера к коленчатому валу двигателя во время пуска и, работая в режиме обгона, автоматически разъединяют стартер и двигатель внутреннего сгорания после пуска.

Наибольшее распространение получили приводные механизмы с роликовыми муфтами свободного хода, в которых закаливание роликов происходит благодаря возникновению сил трения в сопряженных деталях. Роликовые муфты бесшумны в работе, технологичны по конструкции, способны гасить ударные нагрузки и при сравнительно малых размерах передавать значительные вращающие моменты.

По конструкции различают роликовые муфты с внутренними и наружными звездочками, рабочие поверхиости которых представляют собой логарифмическую спираль, спираль Архимеда или окружность со смещенным центром, что позволяет получить постоянный угол заклинивания, равный 4—6°. Для обеспечения надежного контакта роликов с рабочими поверхностями обойм применяют индивидуальные и групповые прижимные устройства. К индивидуальным относятся прижимные устройства с пружинами, осуществляющими нажатие на ролики непосредственно через индивидуальные плунжеры или специальные толкатели Г- или П-образной формы. В муфтах свободного хода с групповыми прижимными устройствами число прижимных пружин меньше числа роликов, а заклинивание роликов между обоймами осуществляется при помощи специальных сепараторов.

В плунжерных роликовых муфтах свободного хода (рис. 25) с наружной ведущей обоймой *5* при увеличении частоты вращения действующая на ролики *1* центробежная сила возрастает, а момент трения между роликами и ведомой цилиндрической обоймой *14*

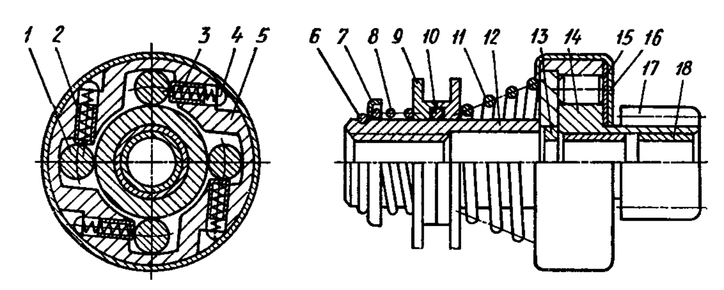


Рис. 25. Привод стартера с плунжерной роликовой муфтой свободного хода:

1 — ролики; *2* — плунжер; *3* — пружина прижимная; *4* — упоры пружины; *5* — обойма наружная ведущая; *6* — кольцо замковое; *7* — чашка; *8* — пружина; *9* — втулка отвода; *10* — кольцо замковое; *11* — пружина буферная; *12* — втулка направляющая шлицевая; *13* — кольцо центрирующее; *14* — обойма ведомая; *15* — пластина металлическая; *16* — кожух муфты; *17* — шестерня привода; *18* — вкладыш

уменьшается. Под действием центробежной силы ролики, преодолевая сопротивление прижимных пружин *3*, перемещаются в широкую часть клиновидного пространства. При этом муфта проскальзывает и предохраняет стартер от разноса. Однако при неустойчивом пуске, когда имеют место пропуски воспламенения в отдельных цилиндрах двигателя внутреннего сгорания, возникают значительные ускорения, а действующие на ролики и плунжеры *2* центробежные силы достигают больших величин и могут превысить создаваемые прижимными пружинами усилия, что ведет к динамической пробуксовке муфты. Воздействие центробежных сил на ролики и плунжеры обусловливает применение прижимных пружин с большими установочными усилиями, однако это не всегда возможно из-за ограниченных размеров обоймы.

При резких динамических ударах роликов по плунжерам деформируются юбка и дно плунжера, упоры в плунжерном отверстии обоймы и пружины. Результатом является неравномерное заклинивание роликов, перегрузка отдельных элементов муфт свободного хода, снижение надежности работы.

Шестерню привода и обойму муфт свободного хода для повышения механической прочности и износоустойчивости изготовляют из высоколегированных сталей. Чтобы предотвратить смещение пружин *3* и обеспечить стабильность прижимного усилия, используют специальные упоры *4*. Иногда в муфты свободного хода в направляющую втулку *12* запрессовано центрирующее кольцо *13*. Это уменьшает радиальное биение обоймы, ограничивает перекос муфты при заклинивании роликов и улучшает работу привода в режиме холостого хода.

Разрезная поводковая муфта, через которую при помощи рычага включения привода передается усилие от электромагнитного тягового реле, составлена из двух половин. Со стороны втулки *9* отвода расположена вспомогательная пружина *8*, упирающаяся в чашку *7*. Такое устройство позволяет разомкнуть главные кон-

такты тягового реле путем сжатия вспомогательной пружины при перемещении втулки отвода возвратной пружиной в тех случаях, когда шестерня привода заедает в зубчатом венце маховика после отключения стартера.

Чтобы исключить заедание шестерни в венце маховика и обеспечить свободный вход и выход шестерни из зацепления, между зубьями приводной шестерни и венца маховика предусмотрен боковой зазор, равный 0,4—1,0 мм. Однако такое расположение шестерни и зубчатого венца маховика увеличивает их износ и потери в передаче вследствие скольжения. Для облегчения входа шестерни в зацепление торцы зубьев имеют скос, обычно с одной стороны, так как направление вращения стартера остается неизменным.

Заклинивание роликов в муфтах свободного хода с бесплунжерными прижимными устройствами происходит за счет перемещения толкателей или сепаратора с пазами, в которых размещены ролики. В первом случае (у муфты с индивидуальными прижимными устройствами) витые цилиндрические пружины *3* (рис. 26) одним концом упираются в выступы толкателей *2*, а другим в отогнутые лепестки пластины *13*, соединенные с наружной обоймой, закрывающей ее рабочую полость. В муфтах с групповыми прижимными устройствами используется одновитковая пружина кручения, закрепляемая одним концом на сепараторе, а другим на наружной ведущей обойме. Сепараторная конструкция прижимного устройства обеспечивает надежную осевую фиксацию роликов и способствует равномерному распределению нагрузки на ролики. Кроме того, благодаря отсутствию отверстий под плунжеры в бесплунжерных муфтах свободного хода повышается прочность обоймы.

Приводные механизмы с храповыми муфтами свободного хода (рис. 27) обеспечивают более полное разъединение стартера и дви-

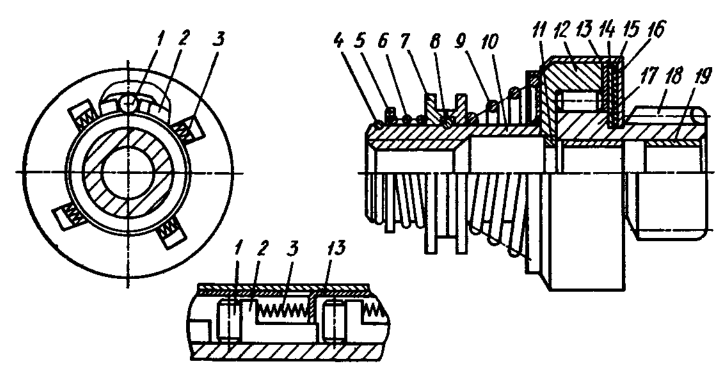


Рис. 26. Привод стартера с бесплунжерной муфтой свободного хода:

1 — ролик; *2* — толкатель Г-образный; *3* — пружина прижимная; *4* — кольцо замковое; *5* — чашка; *6* — пружина; *7* — втулка отвода; *8* — кольцо замковое; *9* — пружина буферная; *10* — втулка направляющая шлицевая; *11* — кольцо центрирующее; *12* — обойма (звездочка) наружная ведущая; *13* — пластина с отогнутыми лепестками; *14* — шайба специальная; *15* — кольцо войлочное; *16* — кожух муфты; *17* — обойма ведомая; *18* — шестерня; *19* — вкладыш

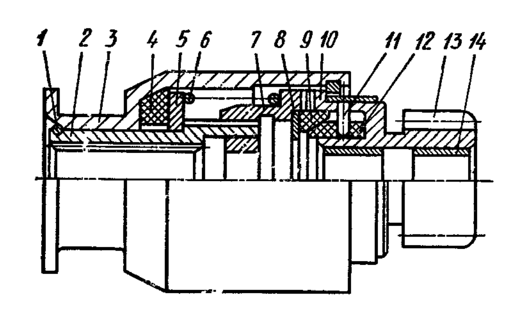


Рис. 27. Привод с храповой муфтой свободного хода:

1 — кольцо замковое; *2* — втулка шлицевая; *3* — корпус привода; *4* — кольцо резиновое; *5* — шайба; *6* — пружина; *7* — храповик ведущий; *8* — шайба; *9* — кольцо конусное; *10* — храповик ведомый; *11* — штифт направляющий; *12* — сегмент; *13* — шестерня; *14* — вкладыш

гателя внутреннего сгорания при значительно меньших удельных нагрузках на силовые элементы муфт свободного хода. При включении стартера привод с храповой муфтой свободного хода под действием тягового реле перемещается по валу. Шестерня *13* входит в зацепление с венцом маховика. Затем включаются силовые контакты тягового реле, и через шлицевую втулку *2*, ведущий *7* и ведомый *10* храповики вращающий момент от вала якоря передается коленчатому валу двигателя. Возникающее при передаче вращающего момента осевое усилие в зацеплении винтовых шлицев втулки *2* и ведущего храповика *7* воспринимается резиновым кольцом *4*. После пуска двигателя, когда частота вращения шестерни превышает частоту вращения якоря, ведущий храповик *7*, сжимая пружину *6*, выходит из зацепления с ведомым храповиком *10*.

Одновременно пластмассовые сегменты *12* под действием центробежных сил перемещаются по направляющим штифтам *11* в радиальном направлении и занимают крайнее верхнее положение, удерживая храповой механизм в разомкнутом состоянии до тех пор, пока осевая составляющая от центробежных сил, действующих на сегменты *12*, будет превышать усилие пружины *6* привода.

Если шестерня привода упирается в венец маховика, пружина *6* сжимается, и благодаря винтовым шлицам втулки *2* ведущий храповик *7* торцовыми зубьями поворачивает ведомый храповик *10* и шестерню *13* на 25—30°, обеспечивая тем самым ввод шестерни в зацепление и замыкание главных контактов тягового реле.

Комбинированный привод (рис. 28) обеспечивает принудительное включение и самовыключение шестерни. Он применяется на мощных стартерах типа СТ 103 напряжением 24 В. При включении стартера рычаг *1* при помощи пальца, расположенного в лунке винтового паза *10*, перемещает стакан *8* в сторону маховика двигателя. Втулка стакана упирается в ведущую гайку *9* и передвигает ее вместе с шестерней *7* по резьбе вала *5* до ввода шестерни в зацепление. Окружной зазор в шлицевом соединении шестерни и вала допускает поворот шестерни относительно вала на один зуб. Если зубья шестерни упираются в венец маховика, ведущая гайка *9* продолжает двигаться, сжимая пружину *4*. За счет усилия в шлицах гайка поворачивает шестерню до тех пор, пока она не войдет в зацепление. В конце хода рычага *1* замыкается цепь питания

стартерного электродвигателя. Вращающий момент через шлицы вала *5*, гайку *9* и шестерню *7* передается коленчатому валу двигателя внутреннего сгорания. Стакан *8* поворачивается одновременно с валом якоря и благодаря наличию винтового паза *10* возвращается в исходное положение, освобождая место для выхода шестерни из зацепления после пуска двигателя, когда шестерня вращается маховиком и направление усилия в шлицевом соединении меняется на противоположное. Буферная пружина *2* смягчает удар при выходе шестерни из зацепления. Ход шестерни ограничивается упорным кольцом *6*, которое закреплено на валу якоря посредством сухарика *11*.

Электромагнитные тяговые реле (рис. 29) служат для ввода шестерни в зацепление с венцом маховика и включения цепи питания стартерного электродвигателя. Тяговые реле крепятся на корпусе стартера при помощи кронштейна. К фланцу прилива

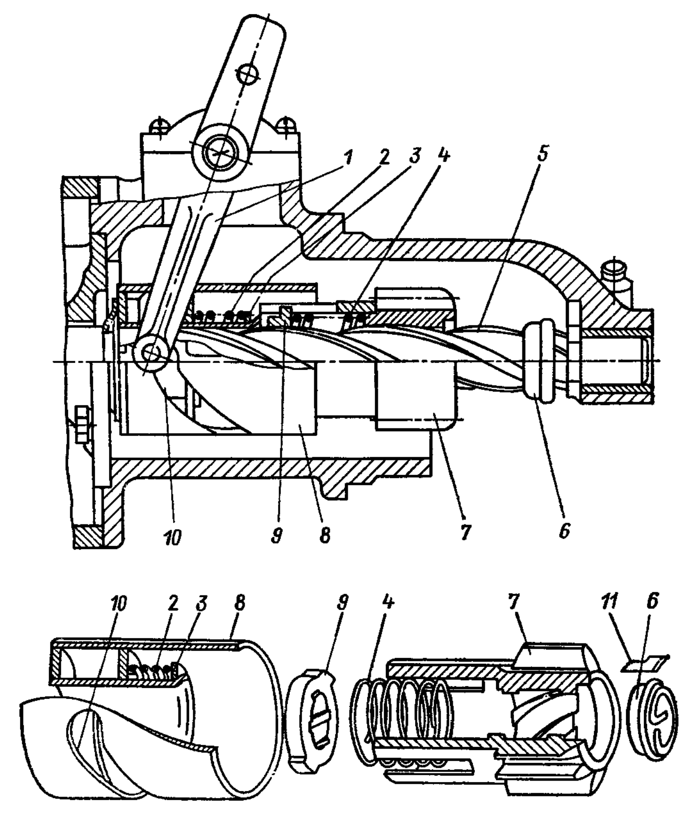


Рис. 28. Комбинированный привод стартера СТ103:

1 — рычаг включения привода; *2* — пружина; *3* — шайба; *4* — пружина; *5* — вал якоря с четырехзаходной резьбой; *6* — кольцо упорное; *7* — шестерня; *8* — стакан; *9* — гайка ведущая; *10* — паз стакана винтовой; *11* — сухарик

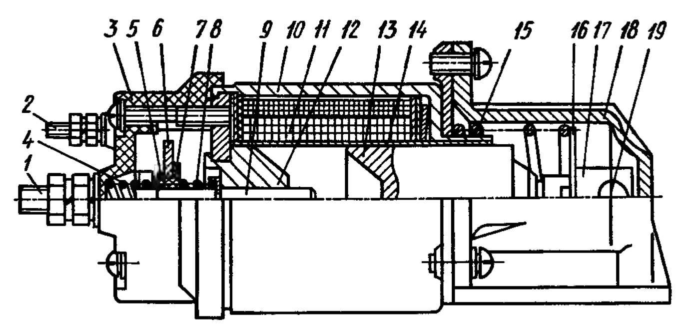


Рис. 29. Электромагнитное тяговое реле стартера СТ 230Б:

1 — болт контактный; *2* — зажим обмоток тягового реле; *3* — крышка; *4* — пружина штока возвратная; *5* — шайба изоляционная; *6* — диск подвижный контактный; *7* — втулка изоляционная; *8* — пружина; *9* — шток; *10* — корпус реле; *11* — катушка; *12* — сердечник электромагнита; *13* — якорь реле; *14* — втулка латунная; *15* — пружина возвратная; *16* — шайба упорная; *17* — тяга; *18* — основание реле; *19* — палец тяги

крышки со стороны привода реле прикреплены непосредственно или через основание *18*.

Катушка *11* с двумя обмотками расположена на латунной втулке *14*, в которой свободно перемещается стальной якорь *13* с тягой *17*, связанной рычагом включения с приводным механизмом. Возвратная пружина *15* расположена в основании реле. Воздействуя на упорную шайбу *16*, пружина удерживает якорь в исходном нерабочем положении.

Неподвижные главные контакты выполнены в виде медных контактных болтов *1* и закреплены в крышке *3* реле, которая изготовлена из пенопласта или пресс-материала АГ-4В. Реле имеет разделенную контактную систему (подвижный диск не связан жестко с якорем реле). Подвижный контактный диск *6* установлен между изоляционной втулкой *7* и шайбой *5* на штоке *9*. Это обеспечивает более надежное соединение силовых контактов реле за счет возможного перекашивания и перемещения диска вдоль оси штока при сжатии пружин *8*. Возвратная пружина *4* после отключения реле от источника питания возвращает шток в нерабочее положение.

При втягивании якоря внутрь корпуса реле палец *19* тяги *17* давит на рычаг включения привода. Для включения шестерни якорь должен переместиться на 14—15 мм. Поэтому начальный зазор между якорем и сердечником *12* электромагнита сравнительно велик. Для того чтобы обеспечить достаточный для втягивания якоря магнитный поток, квадрату которого пропорциональна сила притяжения якоря, необходима большая МДС. После срабатывания реле воздушный зазор между якорем и сердечником практически равен нулю. Сила магнитного притяжения резко возрастает и по величине намного превышает силу, необходимую для удержания якоря реле в рабочем состоянии. Следовательно, после срабаты-

вания реле МДС его катушки можно уменьшить. С этой целью применяют двухобмоточные реле.

Втягивающая обмотка, действуя согласованно с удерживающей, создает достаточную притягивающую силу в момент, когда зазор между якорем и сердечником электромагнита максимален. Однако втягивающая обмотка подключена параллельно главным контактам реле и при их замыкании автоматически выключается из работы. Втягивающая и удерживающая обмотки имеют одинаковое число витков. Удерживающая обмотка намотана проводом меньшего сечения, поэтому ее сопротивление больше. Она рассчитана лишь на удержание притянутого к сердечнику якоря. Обе обмотки имеют один общий вывод, второй вывод удерживающей обмотки соединен с массой.

Тяговые реле различных стартеров отличаются по конструкции. Так, однообмоточное тяговое реле с неразделенной контактной системой стартера СТ 221 (см. рис. 20) крепится к крышке со стороны привода тремя шпильками. Один конец обмотки соединен с массой, а другой имеет штекерный вывод в пластмассовой крышке реле. Подвижный контактный диск имеет прямоугольную форму. Якорь реле соединен с тягой заклепкой. При срабатывании реле тяга перемещает пластмассовый рычаг, соединенный с пластмассовой поводковой муфтой привода через стальное поводковое кольцо.

Схемы управления электростартерами. По способу управления различают стартеры с непосредственным механическим и дистанционным электромагнитным включением.

Непосредственное управление удобно в тех случаях, когда стартер и аккумуляторная батарея расположены вблизи места водителя. В противном случае усложняется механическая передача от педали включения стартера к рычагу механизма привода, увеличивается длина стартерных проводов и потери мощности в них.

При дистанционном управлении аккумуляторная батарея размещена недалеко от стартера и подключается к нему на период пуска посредством тягового электромагнитного реле. В зависимости от выбранной схемы управления подключение тягового реле к источнику питания осуществляется водителем непосредственно из кабины (через дополнительное реле включения или реле блокировки).

Стартеры с дистанционным управлением имеют более сложную конструкцию, большую стоимость и позволяют автоматизировать процесс пуска, что помимо удобства управления сокращает время пуска, расход энергии аккумуляторной батареи и увеличивает срок службы элементов электропусковой системы.

При дистанционном управлении (рис. 30) после поворота в пусковое положение ключа замка зажигания ВЗ срабатывает дополнительное реле ДРС стартера, контакты КДРС которого замыкаются, подключают к аккумуляторной батарее обе обмотки тягового реле стартера *РС* и, минуя добавочное сопротивление, пер-

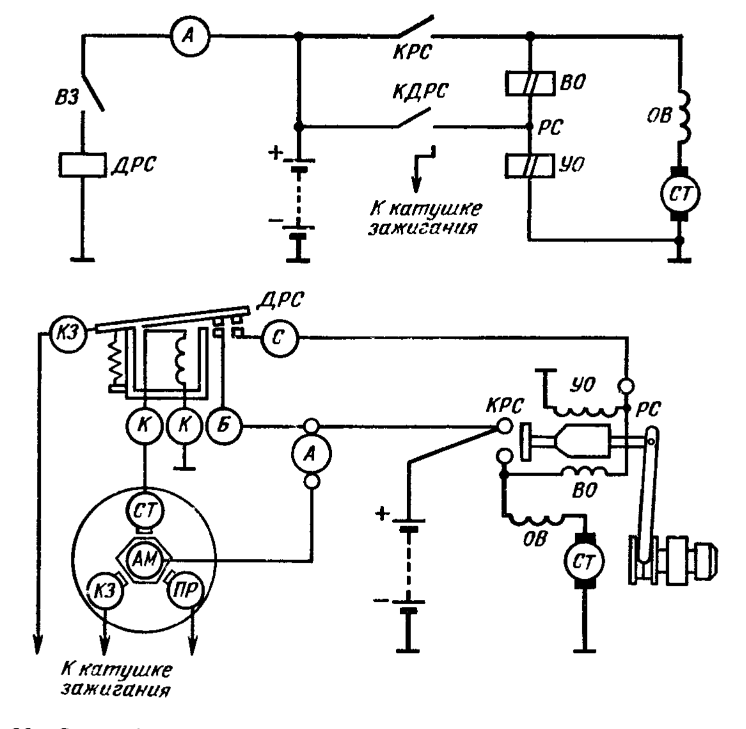


Рис. 30. Схема дистанционного управления электростартером

вичную обмотку катушки зажигания. Принцип работы двухобмоточного тягового электромагнитного реле стартера приведен на рис. 31. Под действием намагничивающей силы двух обмоток (рис. 31, *а*) якорь тягового реле втягивается в электромагнит, при помощи рычажного механизма вводит шестерню привода в зацепление с венцом маховика и в конце хода, замыкая силовые контакты *КРС* тягового реле, включает цепь питания стартерного электродвигателя. Одновременно подвижный контактный диск замыкает накоротко втягивающую обмотку *ВО* тягового реле (рис. 31, *б*).

Главные контакты тягового реле замыкаются, прежде чем шестерня привода полностью (до упора на валу якоря) войдет в зацепление. Однако как только якорь начинает вращаться и привод передает вращающий момент коленчатому валу двигателя внутреннего сгорания, в винтовых шлицах вала якоря и шлицевой втулке муфты свободного хода возникает осевое усилие, которое перемещает шестерню до упора и удерживает ее во включенном состоянии до тех пор, пока она является ведущей. Дополнительное перемещение шестерни обеспечивается посредством сжатия вспомогательной пружины втулкой отвода (см. рис. 25).

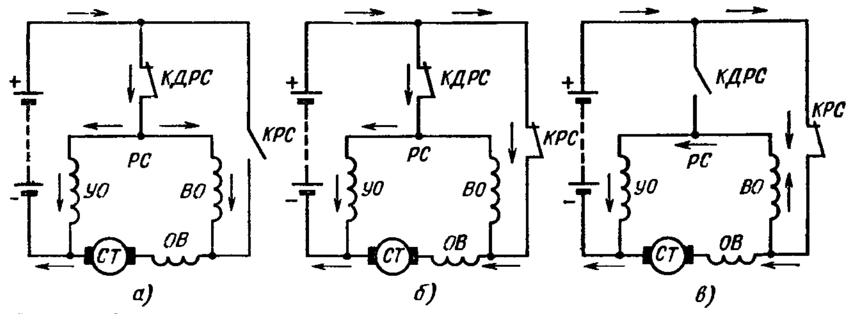


Рис. 31. Принцип работы двухобмоточного тягового электромагнита реле стартера:

а — включение реле; *б* — замыкание силовых контактов; *в* — выключение реле

В тех случаях, когда шестерня упирается в венец маховика, якорь реле, сжимая буферную пружину, продолжает двигаться и замыкает силовые контакты реле. Якорь стартера совместно с приводом начинает вращаться, и шестерня под действием буферной пружины и осевого усилия в винтовых шлицах входит в зацепление в тот момент, когда зуб шестерни расположен против впадины зубчатого венца маховика. Применение винтовых шлицев в сопряжении вал якоря—направляющая втулка привода позволяет уменьшить усилие и ход якоря электромагнита. Это способствует сокращению габаритных размеров, массы тягового реле и, следовательно, стартера в целом.

Шлицевое соединение вала якоря с приводом упрощает выход шестерни из зацепления. Когда маховик работающего двигателя становится ведущим, то направление осевого усилия в шлицах меняется и шестерня отжимается от маховика. Однако осевое усилие в шлицах недостаточно для преодоления силы притяжения электромагнита тягового реле. Поэтому шестерня остается в зацеплении до тех пор, пока водитель не отключит дополнительное реле *ДРС* от источника питания.

При размыкании контактов *КДРС* ток проходит через силовые контакты, втягивающую и удерживающую обмотки (рис. 31, *в*). Причем направление тока в витках удерживающей обмотки *УО* сохраняется прежним, а в витках втягивающей обмотки *ВО* изменяется. Так как число витков в обмотках одинаково и по ним протекает сила тока одной и той же величины, то, действуя встречно, эти обмотки создают два равных, но противоположно направленных магнитных потока. Сердечник электромагнита размагничивается, и возвратная пружина, выдвигая якорь из электромагнита, позволяет разомкнуть силовые контакты реле. Возвратная пружина не только возвращает якорь тягового реле в исходное состояние, но воздействуя на рычаг включения привода, способствует выходу шестерни из зацепления с венцом маховика.

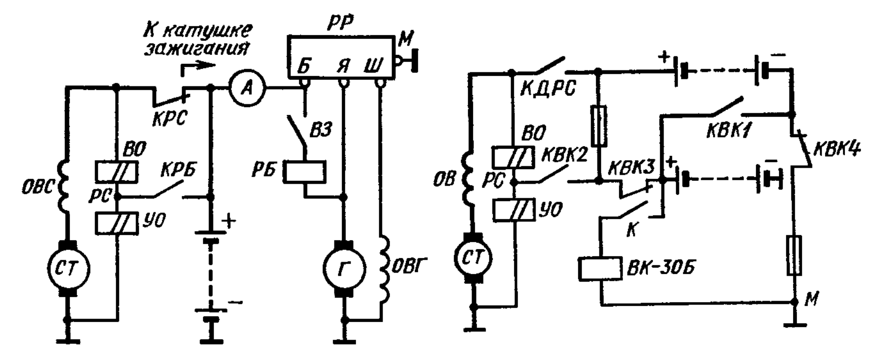


Рис. 32. Схема управления стартером посредством реле блокировки

Рис. 33. Схема управления 24-вольтовым стартером в системе электрооборудования с номинальным напряжением 12 В

Автоматическое отключение стартера после пуска двигателя внутреннего сгорания осуществляется посредством реле блокировки *РБ* (рис. 32).

Когда двигатель внутреннего сгорания начинает работать, генератор возбуждается и его ЭДС в цепи питания реле блокировки, противодействуя ЭДС аккумуляторной батареи, снижает напряжение на зажимах обмотки реле *РБ*. Пружина оттягивает якорек реле и размыкает контакты *КРБ*.

Автоматическое отключение стартера после пуска, осуществляемое благодаря соединению обмотки реле блокировки с аккумуляторной батареей через якорь генератора, способствует сокращению времени работы муфты свободного хода и, следовательно, уменьшению ее износа. При таком способе включения обмотки реле блокировки исключена возможность случайного включения стартера при работающем двигателе. При случайном повороте ключа в замке зажигания в положение, соответствующее включению стартера, реле блокировки не срабатывает, так как сила тока в его обмотке или равна нулю (если контакты реле обратного тока реле-регулятора *РР* замкнуты), или очень мала и недостаточна для срабатывания реле блокировки вследствие небольшой разности ЭДС аккумуляторной батареи и генератора.

Использование на автомобилях и тракторах генераторных установок переменного тока затрудняет выполнение электрической блокировки стартера. Внедрение рассмотренного принципа блокировки исключено из-за большого сопротивления выпрямителя. Поэтому в схемах электрооборудования с геиераторами переменного тока или отказываются от блокировки стартера, или вводят дополнительные сложные устройства.

Мощные стартеры типа СТ 103, рассчитанные на напряжение 24 В, в схемах электрооборудования с номинальным напряжением 12 В включают в работу при помощи специального электромагнит-

ного переключателя, который изменяет соединение двух 12-вольтовых аккумуляторных батарей с параллельного на последовательное (рис. 33).

Электромагнитный переключатель (ВК-30Б) состоит из электромагнита, управляемого дистанционно, и контактной системы. При работающем двигателе контакты переключателя *К* разомкнуты и обе аккумуляторные батареи через предохранители и добавочные контакты *КВК3* и *КВК4* соединены между собой параллельно. При замыкании контактов переключателя *К* электромагнит втягивает якорь переключателя с расположенными на его штоке шайбами. Текстолитовая шайба размыкает контакты *КВК3* и *КВК4*, а контактная шайба замыкает главные контакты *КВК1*, соединяя аккумуляторные батареи на период пуска двигателя внутреннего сгорания последовательно. Одновременно через контакты *КВК2* обеспечивается подача на обмотки тягового реле стартера *РС* напряжения 24 В.

После пуска двигателя контакты переключателя *К* размыкаются, якорь электромагнита переключателя вместе со штоком возвращается в исходное положение и аккумуляторные батареи вновь соединяются параллельно.

В системах электрооборудования напряжением 24 В обмотки тягового реле стартера СТ 103 подключены к источнику питания при помощи управляемых дистанционно электромагнитных переключателей типа ВК-50 или ВК-317, рассчитанных на силу тока 50—60 А.

§ 8. *Методы расчета и подбора электропусковых систем*

Основы электромагнитного расчета стартерных электродвигателей. Стартерный электродвигатель можно рассчитывать на заданную номинальную мощность или из условия обеспечения требуемых характеристик в заданных предельных условиях пуска двигателя внутреннего сгорания. Второй вариант расчета удобен при разработке электропусковой системы для конкретного двигателя внуттреннего сгорания, так как позволяет обеспечить наивыгоднейшее согласование характеристик стартера и двигателя.

Исходными данными для расчета стартерного электродвигателя являются номинальное напряжение $U_н$, полезная мощность P_2 (номинальная $P_н$ или пусковая $P_п$), частота вращения якоря $n_я$ и кратность силы рабочего тока силе тока короткого замыкания ($k = I/I_к$), определяющая режим работы электродвигателя на мощностной характеристике.

При расчете стартерного электродвигателя на заданные предельные условия пуска двигателя внутреннего сгорания частота вращения якоря

$$n = n_{шп} i.$$

Расчетная электромагнитная мощность

$$P = P_2/\eta_{эм},$$

где $\eta_{эм}$ — электромагнитный КПД.

Электромагнитный КПД, учитывающий наличие магнитных и механических потерь при $k = 0{,}4 \div 0{,}7$, равен 0,84—0,95. Зависимость электромагнитного КПД $\eta_{эм}$ от максимальной расчетной электромагнитной мощности приведена на рис. 34.

Расчетная ЭДС в обмотке якоря

$$E_я = (U_н - \Delta U_щ)(1 - k).$$

Расчетный ток в режиме работы

$$I = P/E_я = P/[(U_н - \Delta U_щ)(1 - k)].$$

Суммарное сопротивление цепи якоря

$$\sum R_я = (U_н - \Delta U_щ - E_я)/I.$$

Максимальная электромагнитная мощность

$$P_{max} = P/[4k(1 - k)].$$

Режиму максимальной электромагнитной мощности соответствует $k = 0{,}5$. Поэтому, учитывая (11), можно записать

$$E_{яP_{max}} = 0{,}5(U_н - \Delta U_щ);$$

$$I_{P_{max}} = 2P_{max}/(U_н - \Delta U_щ);$$

$$\sum R_я = (U_н - \Delta U_щ)^2/4P_{max}.$$

Номинальная емкость аккумуляторной батареи характеризуется величиной ее относительной энергии $L_{отн} = (U_н C_{20})/P_{max}$, зависимость которой от максимальной расчетной мощности оптимальных по массе электропусковых систем приведена на рис. 35:

$$C_{20} = P_{max} L_{отн}/U_н.$$

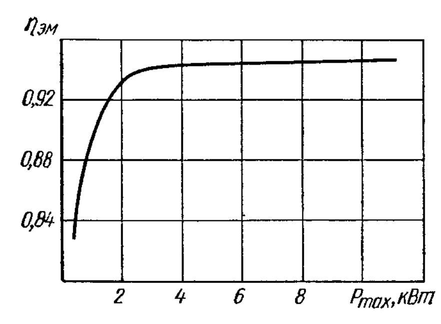


Рис. 34. Зависимость электромагнитного КПД стартерных электродвигателей от максимальной расчетной мощности

Расчетная емкость аккумуляторной батареи округляется до ближайшего большего значения по ГОСТ 959.0—71. Для каждой аккумуляторной батареи определяют внутреннее сопротивление $R_а$ при заданной расчетной температуре, степени заряженности и порядковом номере попытки стартования. При расчете стартерного электродвигателя на заданную номинальную мощность (при

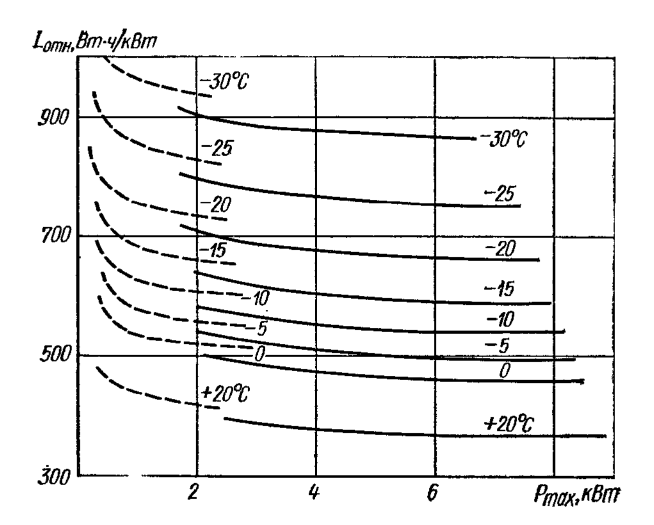


Рис. 35. Зависимость относительной энергии аккумуляторных батарей от максимальной расчетной электромагнитной мощности для оптимальных по массе электропусковых систем (пунктирные кривые при $U_м = 12$ В, сплошные при $U_м = 24$ В)

температуре 25° С) сопротивление аккумуляторной батареи принимается равным $a_н U_н / C_{20}$, т. е. расчетная вольт-амперная характеристика представляется формулой (14).

Совершенство конструкции стартерного электродвигателя зависит от правильного выбора диаметра $D_я$ и длины $l_я$ пакета якоря. Для пакета якоря имеем

$$D_я^2 l_я = 6{,}1 P / (B_\delta A \alpha_\delta n) = C_A P / n, \qquad (15)$$

где B_δ — расчетная индукция в воздушном зазоре, T;

$A = \frac{I_я N}{2 a \pi D_я}$ — линейная нагрузка якоря, А/м;

α_δ — коэффициент полюсного перекрытия;

$C_a = \frac{6{,}1}{B_\delta A \alpha_\delta}$ — постоянная величина.

Зависимость диаметра якоря стартерных электродвигателей оптимальных по массе электропусковых систем от отношения P_{max}/n приведена на рис. 36.

При заданных расчетных значениях мощности и частоты вращения с повышением B_δ, A и α_δ уменьшается объем якоря. Одновременно изменяются размеры индуктора. Поэтому оптимальные значения электромагнитных нагрузок находятся в сравнительно узких пределах. Обычно их выбирают, исходя из условия минимизации объема или массы электрической машины. Рекомендуемые параметры стартерных электродвигателей в зависимости от диаметра пакета якоря представлены на рис. 37. Коэффициент полюсного перекрытия у стартерных электродвигателей составляет 0,60—0,76, причем большие значения α_δ относятся к стартерам большей мощности (рис. 38).

Из уравнения (15) можно определить длину пакета якоря

$$l_я = (C_A P) / (n D_я^2).$$

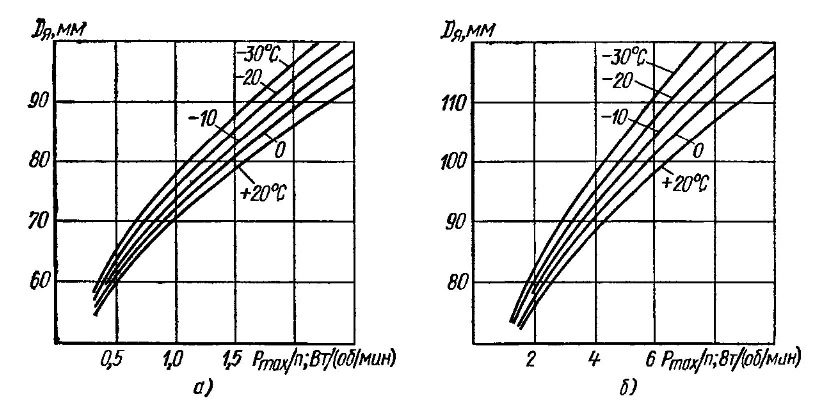


Рис. 36. Зависимость диаметра якоря от отношения P_{max}/n стартерных электродвигателей при различных расчетных температурах:

а — номинальное напряжение 12 В; б — номинальное напряжение 24 В

Магнитный поток на пару полюсов равен

$$\Phi = \alpha_\delta \tau l_я B_\delta,$$

где $\tau = (\pi D_я)/2p$ — полюсное деление, м.

Число активных проводников обмотки якоря

$$N = (60aE_я)/(pn\Phi).$$

Число пазов $z_п$ в четырехполюсных стартерных электродвигателях должно быть нечетным (в пределах 19—31). Тогда число витков в секции обмотки якоря равно

$$w_я = 0{,}5N/z$$

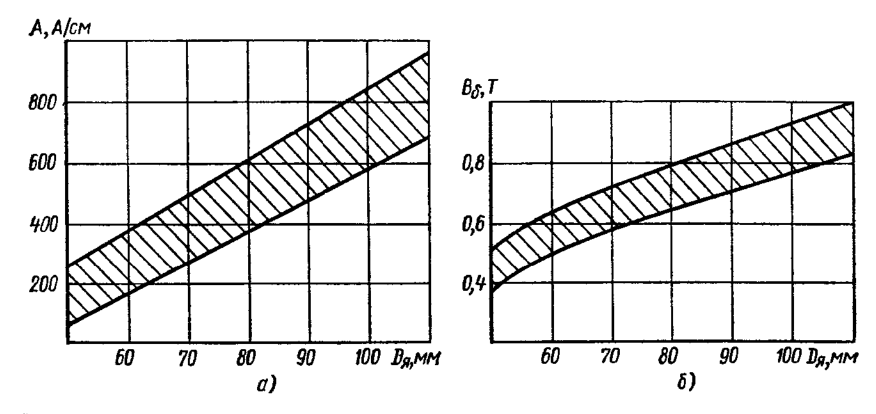


Рис. 37. Зависимости параметров стартерных электродвигателей от диаметров якоря:

а — линейная нагрузка якоря; б — магнитная индукция в воздушном зазоре

Принимая число витков в секции равным 1 или 2, уточняем число активных проводников, линейную нагрузку, длину пакета якоря и величину основного магнитного потока. Так как расчетное число витков в секции может существенно отличаться от 1 или 2, разница между ранее выбранным и уточненным значениями линейной нагрузки может быть довольно значительной. Поэтому после уточнения $l_я$ необходимо проверить отношение $l_я/D_я$, которое для стартерных электродвигателей составляет 0,75—1,25. Если уточненное отношение $l_я/D_я$ выходит за рекомендуемые пределы, следует изменить величину магнитной индукции B_δ или диаметр пакета якоря.

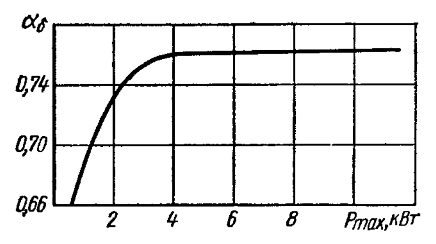


Рис. 38. Зависимость коэффициента полюсного перекрытия стартерных электродвигателей от максимальной расчетной мощности

Суммарное сопротивление обмотки якоря и последовательной обмотки возбуждения

$$R_{ст} = R_я + R_с = \sum R_я - R_а - R_{пр}.$$

Сопротивление обмотки якоря $R_я = (0{,}45 \div 0{,}65)\, R_{ст}$.

Сечение проводников обмотки якоря

$$S_я = \frac{k_t \rho L_{я\,ср} N}{2aR'_я} = \frac{k_t \rho L_{я\,ср} N}{(2a)^2 R_я},$$

где $k_t = 1 + 0{,}04\,(t_я - 20)$ — коэффициент, учитывающий изменение сопротивления обмотки якоря при изменении температуры;

ρ — удельное сопротивление материала проводов при температуре 20° С, Ом·м;

$L_{я.ср} = l_я + (1{,}2—1{,}4)\,\tau$ — средняя длина проводника, м;

$R'_я = 2aR_я$ — сопротивление одной параллельной ветви обмотки якоря, *Ом*;

$t_я$ — температура проводников обмотки якоря.

По расчетной площади сечения проводников обмотки якоря для одновитковых секций выбирают провод марки ПММ с учетом рекомендуемого отношения ширины прямоугольного провода к его высоте, равного 0,55—0,65. Для двухвитковых секций по специальным таблицам определяют диаметр провода.

Плотность тока в проводниках обмотки якоря

$$j_я = I/(2aS_я)$$

не должна превышать $(20 \div 30)10^6$ А/м².

Если табличное значение площади сечения провода отличается от расчетного, необходимо уточнить сопротивление обмотки якоря.

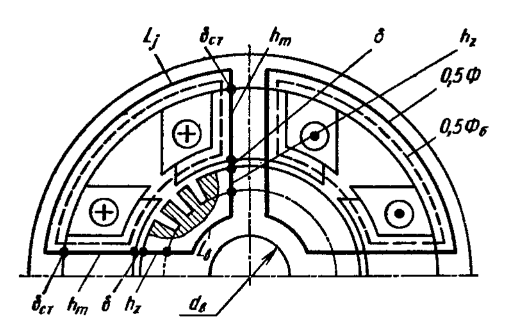


Рис. 39. Магнитная система стартерного электродвигателя

Форму и размеры паза выбирают из условия максимального его заполнения, при этом магнитная индукция в минимальном сечении зубца должна быть в пределах 1,8—3,0 Т (большие значения магнитной индукции относятся к стартерам большей мощности).

Основной магнитный поток Φ составляет только часть потока, проходящего через полюс (рис. 39). Другая часть Φ_σ, называемая потоком рассеивания, ответвляется в междуполюсное пространство, не проходит через воздушный зазор и якорь и поэтому в преобразовании электрической энергии в механическую не участвует.

Требуемую для создания расчетного магнитного потока магнитодвижущую силу F обмоток возбуждения определяют суммированием падений магнитного потенциала на отдельных участках магнитной системы. В стартерных электродвигателях выделяют шесть участков: воздушный зазор (длина средней магнитной силовой линии $L_\delta = 2\delta$); зубцовая зона ($L_z = 2h_z$); спинка якоря ($L_я$); полюс ($L_m = 2h_m$); корпус (L_j); зазор в стыке полюса с корпусом ($L_{ст} = 2\delta_{ст} = 0{,}1$ мм).

При определении размеров участков магнитной цепи можно пользоваться рекомендациями по проектированию электрических машин общего назначения с учетом особенностей конструкции электростартеров. Магнитная индукция в полюсе B_m, сердечнике якоря $B_я$ и в корпусе B_j для стартерных электродвигателей должна составлять 1,0—1,65 Т.

Высота спинки якоря

$$h_я = 0{,}5\,(D_я - 2h_z - d_в),$$

где h_z — высота зубца пакета якоря;

$d_в = (0{,}2 \div 0{,}4)\,D_я$ — диаметр вала.

Магнитная индукция в спинке якоря

$$B_я = \Phi/(2k_c h_я l_я),$$

где $k_c = 0{,}95$ — коэффициент заполнения пакета якоря сталью.

Длина воздушного зазора у стартерных электродвигателей $\delta = 0{,}4 \div 1{,}2$ мм. При малых δ размеры индуктора уменьшаются, технология производства электростартера усложняется.

Наружный диаметр корпуса электростартера выбирают из ряда номинальных диаметров по ГОСТ 9944—77: 70, 80, 90, 100, 105, 115, 130, 150, 180. Допускается отклонение диаметра корпуса от номинального значения на ±3%. Диаметр корпуса стартерных

электродвигателей равен $D_j = (1,45 \div 1,65)\, D_я$, а длина $l_j = (1,6 \div 2,0)\, l_я$.

Расчетное сечение корпуса электростартера

$$S_j = (0,5\Phi k_\sigma)/B_j,$$

где $k_\sigma = 1,1 \div 1,2$ — коэффициент рассеивания магнитного потока.

Толщина корпуса

$$h_j = L_j/S_j \geqslant 6,0 \text{ мм}$$

Диаметр расточки полюсов

$$D_j = D_я + 2\delta.$$

Длина полюса

$$l_m = l_я - (2 \div 3) \text{ мм}.$$

Площадь поперечного сечения сердечника полюса

$$S_m = \Phi\sigma/B_m.$$

Ширина полюса

$$b_m = S_m/l_m$$

и высота

$$h_m = 0,5\,(D_j - D_i - 2h_j).$$

Для высоты наконечника полюса $h_н = (0,25 \div 0,3)\, h_m$ необходимо сделать проверку на допускаемую индукцию, которая не должна превышать 2,0—2,2 T.

Число витков катушки возбуждения стартерного электродвигателя с последовательным возбуждением (может быть дробным, но обязательно кратным 0,5)

$$w_{кс} = (k_\rho F)/2I_{кс},$$

где $k_\rho = 1,2 \div 1,7$ — коэффициент, учитывающий размагничивающее действие реакции якоря;

$I_{кс}$ — сила тока в катушке возбуждения.

Сопротивление последовательной обмотки возбуждения

$$R_с = R_{ст} - R_и.$$

Средняя длина витка катушки

$$L_{к.\,ср} = 2l_m + 2b_m + \pi b'_к,$$

где $b'_к$ — максимально возможная ширина катушки, определяемая по эскизу магнитной системы электродвигателя.

Сечение провода обмотки возбуждения

$$S_с = (k_t \rho L_{к\,ср} w_{кс})/R_{кс},$$

где $R_{кс}$ — сопротивление катушки, Ом.

Высота катушки возбуждения

$$h_к = h_m - h_н.$$

Высота провода катушки возбуждения

$$b = h_к - 2\Delta_{хб},$$

где $\Delta_{хб}$ — толщина внешней изоляции катушки.

По сечению $S_с$ и высоте b подбирают прямоугольный провод марки ПММ. Рекомендуемое соотношение ширины провода к толщине $\frac{b}{a} = 1,2 \div 1,3$.

После выбора сечения провода и толщины $\Delta_{из}$ межвитковой изоляции необходимо уточнить ширину катушки по формуле $b_к = a w_{кс} + \Delta_{из}(w_{кс} - 1) + 2\Delta_{хб}$, а также среднюю длину витка, сопротивление катушки, сопротивление обмотки возбуждения и суммарное сопротивление обмотки возбуждения и якоря.

При проектировании стартеров смешанного возбуждения вначале определяют размеры катушек параллельной обмотки возбуждения.

МДС параллельной обмотки

$$F_ш = (0,1 \div 0,4)\, p k_\rho F,$$

где $k_\rho F$ — МДС пары полюсов при расчетной нагрузке с учетом размагничивающего действия реакции якоря.

Так как сопротивление параллельной обмотки возбуждения

$$R_ш = \frac{U_{ст}}{I_ш} \approx [U_н - I_я(R_а + R_{пр})]/I_ш,$$

то сечение провода (при последовательном соединении катушек)

$$S_ш = (k_t \rho L_{к.\,ср} w_ш)/R_ш =$$
$$= (k_t \rho L_{к.\,ср} w_ш I_ш)/U_{ст} \approx (k_t \rho L_{к.\,ср} F_ш)/[U_н - I_я(R_а + R_{пр})],$$

где $w_ш$ — суммарное число витков катушек параллельной обмотки возбуждения.

Число витков в катушке

$$w_{кш} = [(h_к - 2\Delta_{хб})(b'_к - 2\Delta_{хб})]/d^2_{из},$$

где $d_{из}$ — диаметр изолированного провода, определяемый по ГОСТ 7262—70.

Сопротивление параллельной обмотки возбуждения

$$R_ш = (k_t \rho L_{к.\,ср} w_ш)/S_ш$$

и уточненное значение МДС

$$F_ш = I_ш w_ш = (U_{ст} w_ш)/R_ш.$$

МДС последовательной обмотки возбуждения

$$F_с = p k_\rho F - F_ш.$$

Дальнейший ход расчета последовательной обмотки возбуждения аналогичен расчету по определению размеров катушек обмотки возбуждения стартерного электродвигателя с последовательным возбуждением.

Во всех случаях, когда по данным расчета площадь пространства между полюсами, требуемая для размещения катушек как последовательной, так и параллельной обмоток возбуждения, больше фактической, расчет стартерного электродвигателя следует повторить, увеличив объем пакета якоря.

На первом этапе расчета рабочих характеристик стартерного электродвигателя строят кривые намагничивания машины в режиме холостого хода и при работе под нагрузкой, представляющие собой зависимости магнитной индукции в воздушном зазоре B_δ или основного магнитного потока Φ от МДС обмотки возбуждения.

Расчет кривой намагничивания в режиме холостого хода сводится к определению магнитной индукции, напряженности магнитного поля, падения магнитного потенциала на отдельных участках магнитной цепи и суммарной МДС при различных фиксированных значениях магнитной индукции в воздушном зазоре или магнитного потока.

МДС воздушного зазора (А)

$$F_\delta = (2B_\delta \delta k_\delta)/\mu_0,$$

где $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ — магнитная проницаемость воздуха, Гн/м;

δ — длина воздушного зазора, м;

$k_\delta = \frac{t_1 + 10\delta}{b_{z1} + 10\delta}$ — коэффициент воздушного зазора;

b_{z1} — ширина зубца по наружному диаметру пакета якоря, м;

$t_1 = \frac{\pi D_я}{z_п}$ — зубцовый шаг по наружному диаметру якоря, м;

$z_п$ — число зубцов пакета якоря.

Расчет МДС зубцов проводят на один шаг с учетом вытеснения магнитного потока в паз, если наибольшая индукция в зубце превышает 1,8 Т. Магнитный поток на один зубцовый шаг

$$\Phi_t = B_\delta t_1 l_я.$$

Магнитная индукция в произвольном сечении зубца с учетом вытеснения магнитного потока в паз

$$B_{zx} = B'_{zx} - \mu_0 H_{zx} k_{zx},$$

где $B'_{zx} = \frac{B_\delta t_1}{b_{zx} k_c}$ — магнитная индукция в данном сечении зубца без учета вытеснения магнитного потока в паз, Т;

H_{zx} — напряженность магнитного потока в данном сечении зубца, А/м;

$k_{zx} = \frac{t_{zx}}{b_{zx} k_c} - 1$ — коэффициент, характеризующий профиль зубца;

b_{zx} — ширина зубца в данном сечении, м;

t_{zx} — зубцовый шаг, соответствующий данному сечению зубца, м;

k_c — коэффициент заполнения пакета якоря сталью.

Напряженность магнитного поля в произвольном сечении зубца можно определить по величине B'_z с использованием зависимостей представленных на рис. 40. При трапецеидальной форме зубца достаточно определить напряженность магнитного поля в максимальном H_{z1}, среднем H_{z2} и минимальном H_{z3} сечениях зубца. Тогда расчетное значение напряженности магнитного поля в зубце (А/м)

$$H_z = \frac{1}{6} H_{z1} + 4H_{z2} + H_{z3})$$

и МДС зубцовой зоны (А)

$$F_z = 2h_п H_z,$$

где $h_п$ — высота трапецеидальной части зубца, м.

Напряженность магнитного поля в якоре $H_я$, полюсе H_m и корпусе H_j определяют с использованием зависимостей намагни-

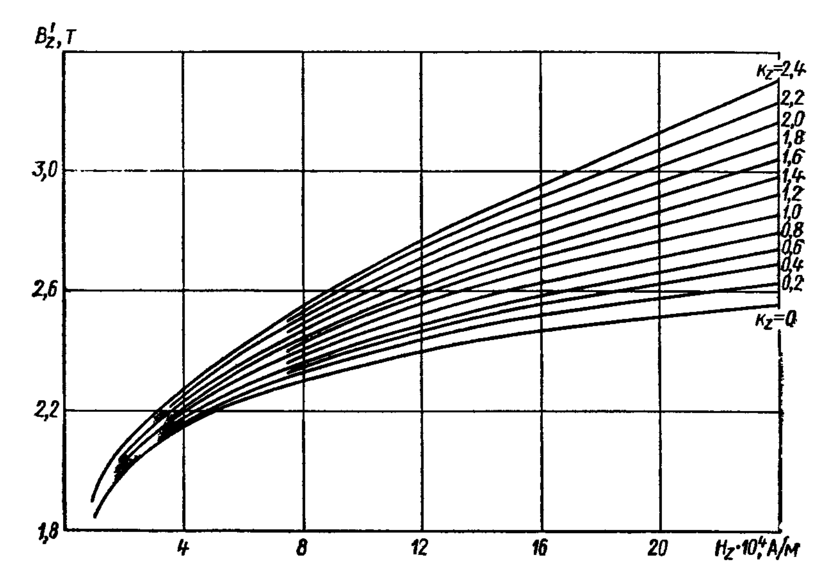


Рис. 40. Зависимости $B'_z = f(H_z)$ при различных зубцовых коэффициентах для стали Ст10

чивания стали от магнитной индукции на соответствующих участках магнитной системы:

$$B_я = \frac{\alpha_\delta \tau}{2k_c h_я} B_б;$$

$$B_m = \frac{\alpha_\delta k_\sigma \tau l_я}{l_m b_m} B_б;$$

$$B_j = \frac{\alpha_\delta k_\sigma \tau l_я}{2 l_j b_j} B_б.$$

МДС спинки якоря

$$F_я = H_я L_я = H_я \left[\frac{\pi (d_в + h_я)}{2p} + h_я - \frac{b_m}{2} \right].$$

МДС полюса

$$F_m = 2 H_m h_m.$$

МДС корпуса

$$F_j = H_j L_j = H_j \left[\frac{\pi (D_j - h_j)}{2p} + h_j - \frac{b_m}{2} \right].$$

МДС стыка полюса с корпусом

$$F_{ст} = (2 B_m \delta_{ст}) / \mu_0.$$

Суммарная МДС на пару полюсов

$$F = F_z + F_\delta + F_я + F_m + F_j + F_{ст}.$$

При слабом насыщении стальных участков магнитной системы электродвигателя в суммарной МДС преобладает МДС воздушного зазора. По мере насыщения машины влияние МДС стальных участков (особенно зубцовой зоны) резко возрастает.

Кривые намагничивания стартерного электродвигателя при работе под нагрузкой строят по общепринятой для электрических машин методике с учетом размагничивающего действия реакции якоря при насыщенной магнитной системе. Если щетки устанавливают на геометрической нейтрали, продольная реакция якоря отсутствует, а МДС поперечной реакции якоря

$$F_\rho = \tau \alpha_\delta A = (\alpha_\delta N I_я) / (4pa).$$

При насыщенной магнитной системе электродвигателя ослабление магнитного поля на сбегающем крае полюса не компенсируется его усилением на набегающем крае, поэтому при заданной МДС на пару полюсов магнитная индукция B_δ и основной магнитный поток Φ при наличии нагрузки будут меньше, чем в режиме холостого хода.

Параметры, необходимые для построения рабочих и механических характеристик стартерного электродвигателя, рассчитывают при различных фиксированных значениях силы тока в якоре. Обратную ЭДС находят путем расчета электрической цепи якоря, а необходимый для определения частоты вращения якоря и элек-

тромагнитного вращающего момента магнитный поток — по кривым намагничивания. Полезная мощность, вращающий момент на валу якоря и КПД стартерного электродвигателя определяют с учетом магнитных и механических потерь по ранее приведенным формулам.

Методика подбора электропусковой системы двигателя внутреннего сгорания. Если заданы предельная температура пуска двигателя, марка и вязкость масла двигателя, степень заряженности аккумуляторной батареи и порядковый номер попытки стартования, то требуемую пусковую мощность, расчетную электромагнитную мощность, обратную ЭДС, силу тока и частоту вращения якоря в расчетном режиме по кратности рабочего тока, а также номинальную емкость и внутреннее сопротивление аккумуляторной батареи устанавливают в последовательности, аналогичной расчету стартерного электродвигателя.

Сопротивление стартера

$$R_{ст} = R_я + R_с = [U_н - \Delta U_щ - E_я - I_я (R_а + R_{пр})]/I_я.$$

Так как сопротивление источника питания по ГОСТ 9944—77 $R_а = a_н \dfrac{U_н}{C_{20}}$, суммарное сопротивление цепи якоря для номинальных рабочих характеристик равно

$$\sum R_я = R_а + R_{ст} = a_н U_н / C_{20} + R_{ст}$$

и максимальная электромагнитная мощность

$$P_{max} = (U_н - \Delta U_щ)^2 / (4 \sum R_я).$$

С достаточным приближением номинальная мощность

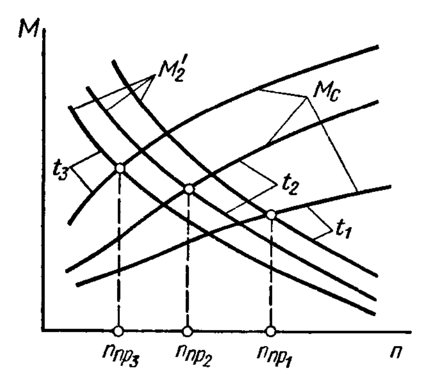
$$P_н = P_{max} \eta_{эм}.$$

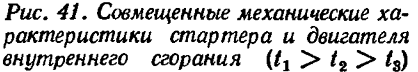
Вращающий момент на валу стартера в рабочем режиме

$$M_2 = M_с / (i \eta_р).$$

По номинальным рабочим характеристикам выбирают такой стартер, у которого вращающий момент при расчетном рабочем токе и номинальная мощность равны или близки расчетным значениям. Если номинальная емкость аккумуляторной батареи, для которой построены номинальные рабочие характеристики электростартера, отличается от расчетной, необходимо проверить правильность выбора расчетной емкости и в случае необходимости подобрать батарею другой емкости.

Работоспособность электропусковой системы двигателя внутреннего сгорания оценивают путем совмещения приведенных к коленчатому валу механических характеристик стартера и двигателя (рис. 41). Пересечение кривых, соответствующих одной расчетной температуре, дает значение частоты вращения $n_{пр}$ коленчатого вала в установившемся режиме провертывания электростартером. Систему пуска считают пригодной для данного двигателя внутрен-




Рис. 41. Совмещенные механические характеристики стартера и двигателя внутреннего сгорания ($t_1 > t_2 > t_3$)

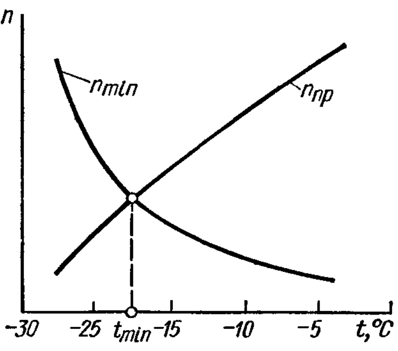


Рис. 42. Определение предельной температуры пуска двигателя внутреннего сгорания

него сгорания, если при заданной предельной температуре пуска соблюдается условие $n_{пр} \geqslant n_{min}$.

Так как с понижением температуры частота вращения $n_{пр}$ уменьшается, а минимальная пусковая частота вращения n_{min} возрастает, совмещение кривых функций $n_{min}(t)$ и $n_{min}(t)$ на одном графике позволяет определить предельную температуру пуска двигателя внутреннего сгорания (рис. 42).

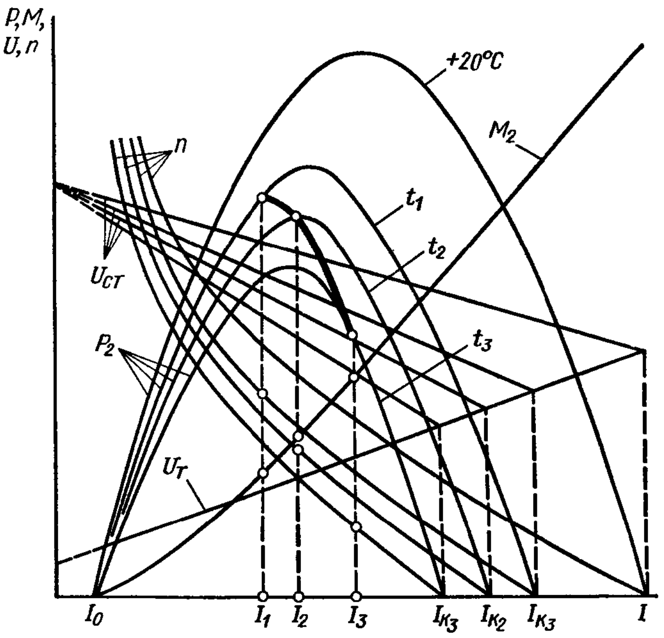


Рис. 43. Режимы работы электростартера на двигателе внутреннего сгорания ($t_1 > t_2 > t_3$)

Пересчет рабочих и механических характеристик стартера на ольт-амперные характеристики аккумуляторной батареи, соответствующие различным температурам, производят по методике, зложенной в § 6.

Изменение температуры приводит к изменению режима работы гартера на двигателе внутреннего сгорания по кратности тока *k*. повышением температуры возрастает вращающий момент старэра и одновременно снижается ток короткого замыкания. Погому режим работы стартера на рабочих характеристиках смещается в сторону больших значений кратности тока *k* (рис. 43).

При проектировании или выборе электропусковой системы первую очередь необходимо удовлетворять условию компоновки гартера на двигателе внутреннего сгорания. При малых передаэчных отношениях привода стартера для повышения быстроходости и уменьшения габаритных размеров стартерные электродвиатели проектируют из расчета работы их при минимальной темпеатуре пуска (в наиболее тяжелых условиях) в режиме по кратноги тока $k = 2/3$. Однако в этом случае возрастает номинальная ощность стартера и сила тока в рабочем режиме, что требует увеичения номинальной емкости аккумуляторной батареи для сохраения того же запаса ее энергии по числу попыток стартования.

Наилучшее использование стартерного электродвигателя по ощности имеет место при работе его в режиме максимальной поезной мощности при заданной расчетной температуре. Оптимальое использование энергии аккумуляторной батареи обеспечиается при работе системы с максимальным КПД. Наивыгоднейіего согласования характеристик электропусковой системы и двиэтеля можно достигнуть путем изменения передаточного отношеия привода стартера. С увеличением передаточного числа режим аботы стартерного электродвигателя смещается в сторону меньіей кратности рабочего тока. Так как условия пуска двигателя нутреннего сгорания и выходные характеристики электропускоой системы зависят от температуры пуска, для каждой расчетной эмпературы существует наивыгоднейшее передаточное отношение ривода.

Глава III. СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ

§ 9. Общие сведения о системах электропитания автомобилей и тракторов

Система электропитания автомобиля или трактора — это совокупность оборудования, обеспечивающая производство, распределение и передачу электрической энергии потребителям. Основное требование к системе электропитания — надежное обеспечение потребителей электрической энергией в различных условиях эксплуатации машины. Элементы системы электропитания должны отвечать общим и специфическим требованиям, которые предъявляются к электрооборудованию автомобилей и тракторов. В тяжелых зимних условиях эксплуатации среднесуточная заряженность батареи должна быть не менее 80%.

На современных машинах применяют системы электропитания постоянного тока, которые отвечают предъявляемым требованиям.

В систему электропитания входят следующие элементы:

источники электрической энергии (генератор и аккумуляторные батареи);

коммутационные и регулирующие параметры электрической энергии аппараты;

электрическая сеть с распределительной и защитной аппаратурой.

Основным источником электрической энергии в системе электропитания является генератор постоянного или переменного тока с выпрямителем (вентильный генератор).

Принципиальные схемы систем электропитания автомобилей и тракторов приведены на рис. 1 и 2.

Системы электропитания автомобилей и тракторов имеют следующие особенности.

Необходимую емкость аккумуляторных батарей определяют из условия надежного пуска двигателя. Мощность генератора зависит от мощности потребителей, имеющих тенденцию роста, и емкости аккумуляторных батарей.

Режим работы потребителей характеризуется широким диапазоном и случайным характером изменения нагрузки.

Скоростной режим работы генератора, приводимого во вращение от двигателя внутреннего сгорания, имеет также случайный характер. Частота вращения якоря генератора изменяется в широких пределах.

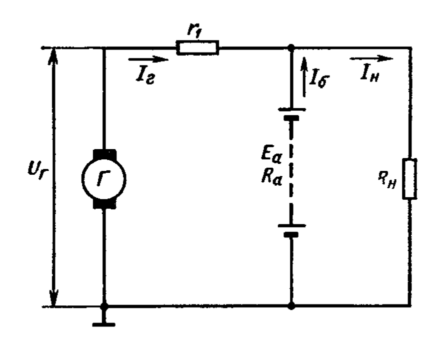


Рис. 44. Принципиальная электрическая схема системы электропитания

Температурные режимы работы генератора и аккумуляторной батареи подвергаются значительным изменениям.

Параллельная работа генератора с аккумуляторной батареей связана со случайным характером распределения нагрузки между ними. Аккумуляторная батарея выполняет функции как источника, так и приемника электрической энергии.

Выполнение основных требований с учетом перечисленных особенностей возможно лишь при правильном выборе параметров системы электропитания и ее отдельных элементов.

Показателями, характеризующими систему электропитания, являются:

номинальное напряжение генератора;

номинальная мощность генератора;

емкость аккумуляторных батарей;

уровень регулируемого напряжения;

диапазон частот вращения и передаточное отношение привода генератора;

падение напряжения в цепях питания потребителей;

параметры электрической энергии.

Распределение нагрузки между генератором и аккумуляторной батареей определяют из принципиальной схемы системы электропитания (рис. 44), представив все потребители через эквивалентное сопротивление $R_н$. Величина $R_н$ изменяется в зависимости от числа и мощности потребителей.

Если пренебречь током возбуждения $I_в$, то для системы электропитания справедливы уравнения

$$\left.\begin{aligned} &U_г = I_г r_1 + I_н R_н; \\ &E_а + I_б R_а + I_н R_н; \\ &I_н = I_г + I_б, \end{aligned}\right\}$$

где $U_г$ — напряжение генератора;

$E_а$, $R_а$ — ЭДС и внутреннее сопротивление аккумуляторной батареи;

r_1 — эквивалентное сопротивление проводов, шунта амперметра, соединительных переходных контактов между генератором и аккумуляторной батареей;

$I_г$, $I_б$, $I_н$ — силы тока соответственно генератора, батареи, нагрузки.

Решив систему уравнений, получим выражения для соответствующих токов

$$I_г = \frac{U_г R_а + (U_г - E_а) R_н}{R_а (r_1 + R_н) + r_1 R_н};$$

$$I_б = \frac{(U_г - E_а) R_н - E_а r_1}{R_а (r_1 + R_н) + r_1 R_н};$$

$$I_н = \frac{U_г R_а + E_а r_1}{R_а (r_1 + R_н) + r_1 R_н}.$$

Найденные соотношения позволяют установить характерные режимы работы системы электропитания и распределение нагрузки между генератором и аккумуляторной батареей. Следует выделить три основных режима.

I. Если все потребители выключены ($R_н = \infty$, $I_н = 0$), то сила тока генератора равна силе тока аккумуляторных батарей $I_г = I_б = (U_г - E_а)/(R_а + r_1)$. В системе электропитания происходит заряд аккумуляторной батареи. Интенсивность заряда зависит от уровня регулируемого напряжения генератора и степени заряженности аккумуляторной батареи.

II Если число включенных потребителей таково, что $I_н \leqslant I_г$, то зарядный ток будет уменьшаться. При $R_н = E_а r_1/(U_г - E_а)$ зарядный ток равен нулю.

III. Если число потребителей увеличивается, то при $R_н < E_а r_1/(U_г - E_а)$ аккумуляторная батарея начнет разряжаться, воспринимая часть нагрузки на себя. Режим разряда аккумуляторной батареи возникает вследствие падения напряжения генератора $U_г$ при уменьшении частоты вращения генератора. Известно, что напряжение генератора

$$U_г = E_г - I_г R_я = C_e n \Phi - I_г R_я,$$

где $E_г$ — ЭДС генератора.

Анализ соотношений, определяющих силу тока в системе электропитания, и характерных режимов показывает, что распределение нагрузки между генератором и аккумуляторной батареей зависит от многих факторов, основными из которых являются скоростной режим и токоскоростная характеристика генератора, уровень регулируемого напряжения, состояние аккумуляторной батареи, температура окружающей среды.

Частотный режим генератора характеризуется коэффициентом оборотности

$$K_г = n/v,$$

где v — скорость автомобиля, км/ч;
n — частота вращения якоря генератора при движении автомобиля со скоростью v.

Пределы изменения частоты вращения якоря генератора определяются пределами изменения частоты вращения коленчатого вала

двигателя внутреннего сгорания и передаточным отношением привода $i_п$:

$$n = i_п n_{дв}.$$

Для автотракторных генераторов установлены следующие частотные параметры:

n_x — минимальная частота вращения ротора генератора в режиме холостого хода, при которой генератор развивает номинальное напряжение (начальная частота возбуждения);

$n_н$ — минимальная частота вращения ротора генератора, работающего с ограничителем тока (генераторы постоянного тока), при которой генератор развивает номинальную мощность при номинальном напряжении;

$n_р$ — минимальная частота вращения ротора генератора, работающего без ограничителя тока (вентильные генераторы), при которой генератор развивает расчетную мощность при номинальном напряжении (режим максимальной тепловой нагрузки);

n_{max} — максимальная частота вращения генератора.

Для вентильных генераторов номинальные мощность и сила тока (значения их указаны на щите генератора)—величины условные, соответствующие частоте вращения 5000 об/мин.

Эффективность работы генератора зависит от места его установки и типа привода. Необходимо обеспечить легкую установку и съем генератора, свободный доступ к коллектору и щеткам генератора постоянного тока или контактным кольцам и щеткам вентильного генератора, удаленность от нагреваемых частей двигателя, возможность дополнительного охлаждения.

Обычно генератор устанавливают на передней части двигателя таким образом, чтобы шкив генератора выступил вперед блока цилиндров. При такой установке обеспечивается дополнительный обдув генератора от вентилятора двигателя.

Привод генераторов на автомобиле и тракторе осуществляется от основного двигателя через ременную, цепную или шестеренчатую передачу. Наибольшее распространение для автотракторных генераторов получила ременная передача.

Ременная передача отличается эластичностью, бесшумностью в работе и простотой конструкции. Однако она обладает и рядом недостатков: большие размеры передачи (шкивы, ремень); значительный износ ремня; необходимость контроля и периодического натяжения ремня.

Цепная передача не обладает эластичностью и бесшумностью, однако она практически не изнашивается и не требует регулировки.

Шестеренчатая передача лишена указанных недостатков ременной передачи, но она более сложна, так как требует обеспечения точного расстояния между осями шестерни двигателя и ведомой шестерни генератора и не обладает эластичностью.

Если применяют ременную передачу, то крепление генератора к двигателю производят обычно на кронштейне (рис. 45). Такое

крепление позволяет свободно перемещаться генератору и тем самым регулировать натяжение приводного ремня При креплении генератора на кронштейне не должно быть зазора между кронштейном и лапами генератора (зазор при необходимости устраняют при помощи стальных шайб), а шарнирные болты и натяжная планка должны надежно фиксировать положение генератора, чтобы в процессе эксплуатации не происходило поломки узлов крепления.

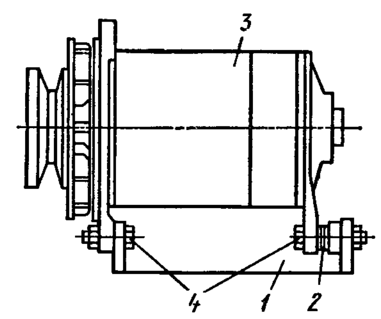


Рис. 45. Крепление генератора к двигателю:

1 — кронштейн; 2 — регулировочные шайбы; 3 — генератор; 4 — болты крепления

Особое внимание следует обращать на совпадение оси профиля ручья шкива генератора с осью ручья ведущего шкива (несовпадение осей не должно превышать 1 мм), а также на натяжение приводного ремня. Оптимальная величина прогиба ремня составляет 10—15 мм. Контроль прогиба осуществляется нажатием пальцем на середину ремня между шкивами генератора и двигателя. В случае слабого натяжения ремень проскальзывает на шкиве генератора, что вызывает снижение частоты вращения генератора, а следовательно, и силы тока, отдаваемого генератором. При сильном натяжении ремня резко повышается нагрузка на подшипниках генератора со стороны привода, что приводит к снижению срока службы генератора.

Применяют два варианта схем ременного привода (рис. 46):

клиновидный ремень охватывает ведущий шкив, расположенный на коленчатом валу двигателя, шкив вентилятора и шкив генератора (привод на три шкива);

генератор приводится во вращение индивидуальным приводом.

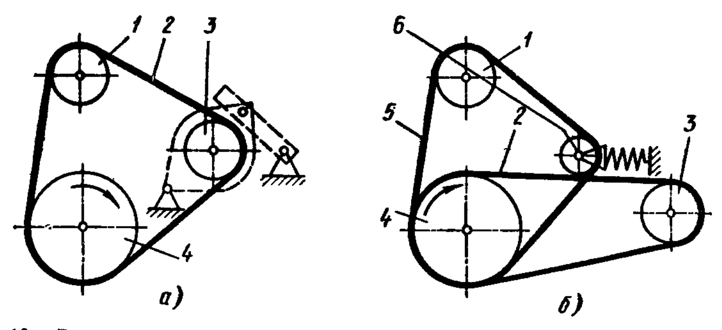


Рис. 46. Ременный привод генератора:

а — с общим ремнем; б — с индивидуальным ремнем; 1 — шкив вентилятора; 2 — приводной ремень генератора; 3 — шкив генератора; 4 — шкив коленчатого вала двигателя; 5 — приводной ремень вентилятора; 6 — натяжной ролик

В первом варианте генератор одновременно выполняет роль натяжного ролика. Недостатком привода «на три шкива» является то, что подшипник генератора, установленный в крышке со стороны привода, испытывает повышенные нагрузки, которые способствуют сокращению его срока службы.

При цепной передаче крепление генератора к двигателю выполняют «на постели» натяжной лентой. Часто шестерня привода генератора расположена на отдельном валике и подшипнике и соединяется с валом генератора при помощи упругой муфты.

Шестеренчатый привод применяют иногда подобно цепному (с упругой муфтой), однако наибольшее распространение получил непосредственный шестеренчатый привод, когда конец вала генератора входит в шестеренчатый редуктор. При шестеренчатом приводе распространено фланцевое крепление генератора, обеспечивающее точное расстояние между осями.

При выборе передаточного отношения привода следует учитывать условия эксплуатации автомобилей и тракторов. Для легковых автомобилей, которые не часто используют максимальную скорость, можно выбирать более высокий коэффициент передачи. Для автомобилей, выполняющих междугородные перевозки, — более низкий. Повышение частоты вращения генератора ограничивается сроком службы и надежностью генератора. С повышением частоты вращения ухудшается коммутация, увеличивается износ щеток коллектора и подшипников.

Передаточное отношение привода генератора для отечественных автомобилей и тракторов равно 1,5—2. Предполагается увеличить передаточное отношение до 2,2—2,5.

§ 10. Генераторы постоянного тока

Принцип действия генераторов постоянного тока известен из курса электрических машин. Свойства электрических машин, в том числе и генераторов постоянного тока, оценивают характеристиками.

Автотракторные генераторы в отличие от генераторов общепромышленного применения (ОП) работают при переменной частоте вращения с регуляторами напряжения, поддерживающими постоянное напряжение, т. е. при переменном магнитном поле. Для выявления влияния частоты вращения на характеристики генератора обычно рассматривают семейство характеристик при различных частотах вращения якоря.

Все автотракторные генераторы постоянного тока с самовозбуждением, т. е. возбуждение генератора осуществляется за счет энергии самого генератора. Самовозбуждение генератора возможно если:

генератор имеет остаточный магнитный поток;

направление остаточного магнитного потока совпадает с направлением потока, создаваемого током возбуждения;

сопротивление цепи возбуждения меньше критического. Обычно в генераторах постоянного тока остаточный магнитный поток составляет 2—3 % номинального.

Типичные характеристики холостого хода автотракторного генератора приведены на рис. 47. Эти характеристики устанавливают зависимость напряжения (ЭДС) генератора от тока возбуждения при отсутствии нагрузки и постоянной частоте вращения якоря.

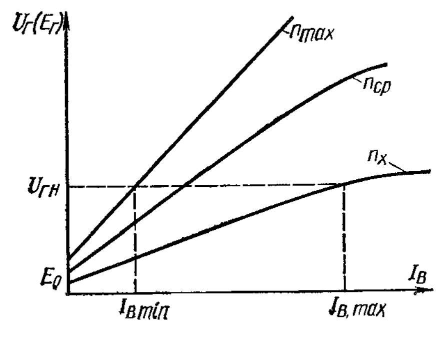


Рис. 47. Характеристики холостого хода генератора

Для получения семейства характеристик холостого хода достаточно снять (рассчитать) эту характеристику при одной частоте вращения n_1. Построение характеристик для частоты вращения n_2 производят на основании пропорциональности ЭДС генератора и частоты вращения якоря, т. е.

$$E_г = \frac{p}{a}\frac{N}{60} n\Phi = C_e n\Phi.$$

При данной силе тока возбуждения $I_В$ ($\Phi = \text{const}$)

$$E_{г1}/E_{г2} = n_1/n_2,$$

следовательно,

$$E_{г2} = E_{г1}(n_1/n_2).$$

Семейство характеристик холостого хода позволяет не только судить об использовании магнитных материалов, но и установить необходимую для поддержания постоянного напряжения генератора зависимость тока возбуждения от изменения частоты вращения в заданных пределах.

По характеристикам холостого хода можно рассчитать и процесс самовозбуждения генератора, определяющий изменение напряжения и тока возбуждения генератора во времени.

Уравнение динамического равновесия для цепи возбуждения генератора можно записать

$$U_г = i_В R_В + L_В (di_В/dt), \tag{16}$$

где $R_В$ и $L_В$ — соответственно сопротивление и индуктивность цепи возбуждения.

Индуктивность цепи возбуждения можно выразить через скорость изменения магнитного потока и число витков обмотки возбуждения $w_В$

$$L_В = w_В (d\Phi/di_В). \tag{17}$$

Обычно процесс самовозбуждения протекает в режиме холостого хода, для которого

$U_г = C\, n\Phi$ и $dU_г = C_e n d\Phi$.

Следовательно,

$$d\Phi = dU_г / C_e n. \qquad (18)$$

С учетом рассеяния магнитного потока, соотношений (17) и (18) уравнение динамического равновесия (16) можно привести к виду

$$U_г = i_B R_B + \frac{\sigma w_B}{C_e n} \frac{dU_г}{dt},$$

где $\sigma = 1{,}1 \div 1{,}2$ — коэффициент, учитывающий рассеяния полюсной системы.

Переходя к конечным приращениям, т. е. заменяя $dU_г/dt = \Delta U_г/\Delta t$, получаем

$$\frac{\Delta U_г}{\dfrac{U_г}{R_B} - i_B} = \frac{\Delta t}{K},$$

где

$K = (\sigma w_B)/(C_e n_я R_B)$.

Задаваясь интервалом времени Δt, получаем в окончательном виде

$$\Delta U_г \Big/ \left(\frac{U_г}{R_B} - i_B\right) = \Delta t / K = \operatorname{tg} \alpha' = \text{const}. \qquad (19)$$

Так как характеристика холостого хода может быть построена с различными масштабами по осям координат, введем масштабные коэффициенты. Переходя к геометрическим соотношениям, имеем

$$\operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} \alpha' \frac{m_{I_B}}{m_{U_г}} = \frac{\Delta t}{K} \frac{m_{I_B}}{m_{U_г}} = \text{const}. \qquad (20)$$

Соотношения (19) и (20) позволяют установить следующий графический метод построения кривых, характеризующих процесс самовозбуждения (рис. 48). В правом квадранте в выбранных произвольно масштабах строят характеристику холостого хода для определенной частоты вращения якоря генератора. Из начала координат проводят прямую OA под углом $\beta = \operatorname{arc\,tg} R_B$. Задавшись интервалом времени Δt, вычисляют геометрическое значение $\operatorname{tg} \alpha$. Под углом α из точки *1*, соответствующей ЭДС остаточного магнитного потока, проводят прямую до пересечения с характеристикой холостого хода (точка *2*). Через точку *2* проводят прямую до пересечения с прямой OA (точка *3*). Из точки *3* проводят луч под углом α до пересечения с прямой OA (точка *4*) и т. д.

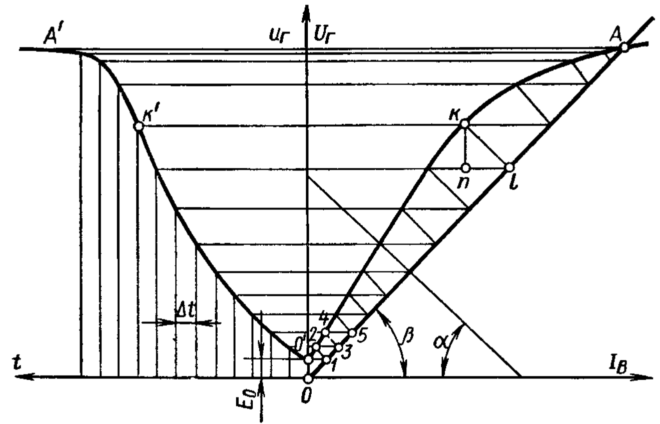


Рис. 48. К расчету переходного процесса генератора

Установившееся значение напряжения генератора будет соответствовать точке пересечения характеристики холостого хода с прямой OA.

Рассматривая треугольник kln, можно показать, что произведенное построение соответствует соотношению (20), которое позволяет определить приращение напряжения $\Delta U_г$ за рассматриваемый промежуток времени Δt.

Затем, откладывая в левом квадранте по оси абсцисс интервалы времени Δt и на соответствующие им вертикали полученные значения приращений напряжения генератора, получаем кривую переходного процесса при самовозбуждении генератора $U_г = f(t)$ (кривая $OK'A'$). Полученные точки соединяют плавной кривой.

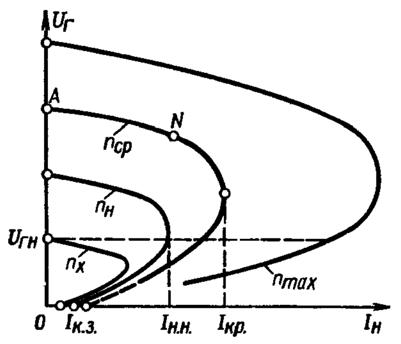
Внешние характеристики генератора (рис. 49) с параллельным возбуждением представляют собой зависимость напряжения генератора от силы тока нагрузки $U_г = f(I_н)$ при постоянном сопротивлении цепи возбуждения $R_в = \text{const}$ и постоянной частоте вращения якоря генератора $n = \text{const}$.

Напряжение на зажимах генератора параллельного возбуждения падает при увеличении нагрузки под действием реакции якоря, падения напряжения в цепи якоря $I_я R_я$ и уменьшения силы тока возбуждения, так как сила тока возбуждения генератора $I_в = U_г/R_в$.

При насыщенной магнитной цепи с ростом тока нагрузки напряжение генератора уменьшается незначительно (участок AN), в основном за счет увеличения падения напряжения в цепи якоря.

При ненасыщенной магнитной цепи влияние реакции якоря и уменьшение силы тока возбуждения более значительные. Напряжение генератора резко падает скачкообразно, и нагрузка достигает критического значения $I_{кр}$.

Таким образом, нагрузка генератора, достигнув критического значения, начинает уменьшаться и при коротком замыкании $I_{кз} =$



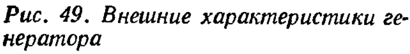


Рис. 49. Внешние характеристики генератора

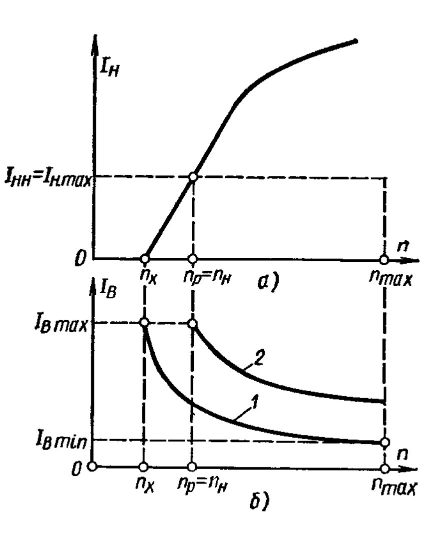


Рис. 50. Характеристики генератора: а — токоскоростные; б — регулировочно-скоростные (кривая 1 при $I_н = 0$, кривая 2 при $I_н = I_{н.\,ном}$)

$= E_0/R_я$, т. е. определяется величиной ЭДС E_0 от остаточного магнитного потока и сопротивлением $R_я$ цепи якоря (при этом $U_г = 0$ и $I_в = 0$). Для генератора параллельного возбуждения этот режим не является аварийным. Однако возможны случаи внезапного замыкания, т. е. мгновенный переход к такому режиму. В этом случае проявляет себя инерционность цепи возбуждения, связанная с запасом электромагнитной энергии. Изменение тока возбуждения (а следовательно, и потока) происходит с известной задержкой во времени. Поэтому ток внезапного короткого замыкания кратковременно может достигать значения, в десятки раз превосходящего номинальное значение тока нагрузки.

При повышении частоты вращения генератора внешние характеристики смещаются вверх, максимальное значение тока нагрузки при $U_г = U_{г.\,н}$ и ток короткого замыкания возрастают. Семейство внешних характеристик позволяет построить токоскоростную характеристику.

Токоскоростные характеристики генератора $I_н = f(n)$ при $U_г = \text{const}$ и $R_в = \text{const}$ (рис. 50) позволяют установить перегрузочную способность генератора. Автотракторные генераторы постоянного тока обладают высокой перегрузочной способностью (кратковременная перегрузка по току). Однако длительную работу генератора в режиме перегрузки допускать нельзя из-за резкого ухудшения коммутации и перегрева генератора. Последнее обстоятельство может привести к снижению долговечности и даже выходу генератора из строя. Поэтому, как правило, генераторы постоянного тока работают с ограничителем тока.

Для определения кратности и возможного поля регулирования тока возбуждения при поддержании постоянства напряжения на

зажимах генератора пользуются регулировочно-скоростными характеристиками. Они представляют собой зависимость тока возбуждения от частоты вращения $I_в = f(n)$ при $U_{гн} = \text{const}$, $I_н = \text{const}$ (рис. 50, *б*).

Конструктивная схема автотракторных генераторов постоянного тока такая же, как у генераторов общепромышленного назначения. Конструктивные особенности обусловлены технологией массового производства и условиями эксплуатации. Генераторы мощностью до 400 Вт выполняют двухполюсными, более 400 Вт — четырехполюсными (выбор числа полюсов связан с технологическими и экономическими соображениями). Конструкцию автомобильного генератора постоянного тока рассмотрим на примере генератора Г 130.

Генератор Г 130 (рис. 51) двухполюсный мощностью 350 Вт параллельным возбуждением. Основными узлами генератора являются статор, ротор (якорь), крышка со стороны привода (передняя крышка), крышка со стороны коллектора (задняя крышка), шкив-вентилятор.

Статор состоит из корпуса и двух полюсов с обмотками возбуждения.

Корпус *1* генератора изготовляют методом штамповки из полосовой малоуглеродистой стали Ст10. На внутренней поверхности корпуса закреплены полюса, на которые устанавливают (надевают) катушки *4* обмотки возбуждения. Полюса вырубают из стали 20 специального профиля. Форма сердечника полюсов прямоугольная или круглая.

В настоящее время изготовляют сердечники полюсов круглыми. На круглый сердечник удобнее устанавливать катушки обмотки возбуждения. Расход меди по сравнению с изготовлением прямоугольных полюсов сокращается на 25%. Катушки возбуждения соединены последовательно. Снаружи они оплетены хлопчатобумажной лентой, пропитанной изоляционным лаком, что повышает электрическую прочность катушек к корпусу. Один вывод обмотки возбуждения соединен с выводом шунта, образующим клемму Ш генератора, а другой с щеткодержателем щетки *24*, соединенным с массой генератора.

Корпус и сердечники полюсов обладают остаточным магнетизмом, необходимым для самовозбуждения генератора.

Статор является индуктором генератора постоянного тока.

Ротор состоит из обмотки *2* якоря, вала *3*, пакета *5* якоря, коллектора *14*. На вал насажены пакет якоря и коллектор. Разница диаметров отдельных ступеней вала минимальная Вал изготовляют из цилиндрических прутков прокатной стали 45.

Пакет представляет собой цилиндр, набранный из штампованных пластин электротехнической стали 1211 толщиной 0,5—1 мм с равномерно расположенными по окружности 20 пазами. Для повышения жесткости пакета крайние пластины имеют большую толщину (1,5—2,0 мм). Перед напрессовкой на вал пластины в па-

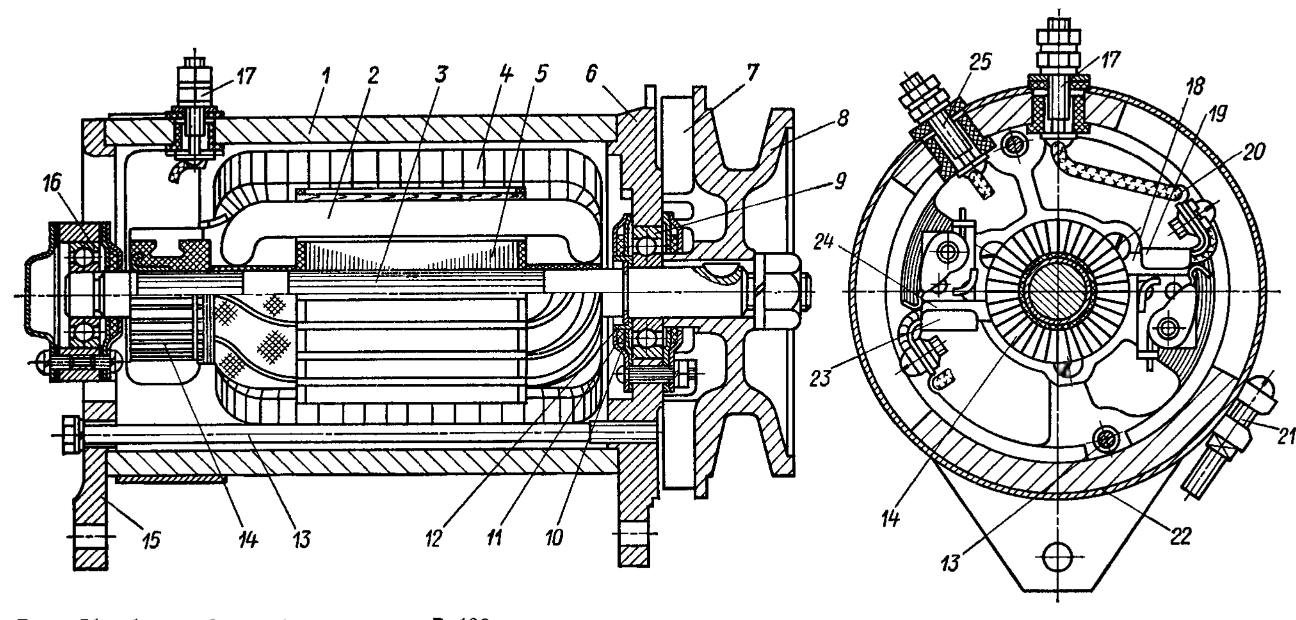


Рис. 51. Автомобильный генератор Г 130:

1 — корпус; *2* — обмотка якоря; *3* — вал якоря; *4* — обмотка возбуждения; *5* — пакет якоря; *6* — крышка со стороны привода; *7* — вентилятор; *8* — шкив; *9* — подшипник; *10*, *11* — шайбы сальника; *12* — уплотнение фетровое; *13* — стяжной винт; *14* — коллектор; *15* — крышка со стороны коллектора; *16* — подшипник; *17* — клемма якоря; *18*, *24* — щетка; *19* — щеткодержатель, изолированный от крышки; *20* — соединительный провод; *21* — стяжной винт; *22* — защитная лента; *23* — щеткодержатель, не изолированный от крышки; *25* — клемма шунта

кете ориентируют таким образом, что на поверхности сердечника образуются продольные пазы.

Для предотвращения замыкания обмотки якоря на пакет в пазы до размещения обмотки закладывают изоляцию (пазовые гильзы из электрокартона), а с торцов пакета устанавливают изоляционные пластины).

Коллектор служит для преобразования переменного тока, индуктированного в обмотке якоря, в постоянный и отвода его при помощи щеток во внешнюю цепь. Коллектор состоит из медных пластин (40 шт.), которые изолированы одна от другой миканитовыми пластинами, а от вала — миканитовой или прессшпановой трубкой. Крепление пластин в коллекторе осуществляется заливкой пластин в пластмассу. Обмотка якоря — это барабанные двухслойные петлевые обмотки (шаг обмотки по пазам 1—10, шаг по коллектору 1—2).

Большое число секций в обмотке якоря (следовательно, и большое число пазов якоря) определяется необходимостью сглаживания пульсации ЭДС и тока, а большое число витков в секции — необходимостью увеличения ЭДС, наводимой в обмотке якоря.

К каждой пластине коллектора припаяны концы двух секций обмотки якоря. Все секции соединены между собой на пластинах коллектора последовательно.

После размещения обмотки в пазах якоря в пазы сердечника устанавливают клинья из изоляционного материала (дерево или бумага). Обмотка в пазах закреплена посредством клиньев. Это исключает возможные перемещения, которые могут произойти под действием центробежных сил при больших частотах вращения якоря. Кроме того, для повышения электрической прочности обмоток и жесткости витков якорь пропитывают изоляционными лаками.

Корпус *1* генератора с двух сторон закрыт крышками *15*, *6*, с вентиляционными окнами для прохождения потока воздуха, охлаждающего генератор. Крышки выполнены из чугуна и крепятся к корпусу и между собой при помощи двух стяжных винтов *13*. В крышках установлены шариковые подшипники *9*, *16*. Для сохранения смазки в подшипниках служат войлочные сальники и уплотнительные прокладки.

Для крепления генератора на двигателе и регулирования натяжения приводного ремня заодно с крышками отлиты лапы (на крышке со стороны привода две лапы, а на крышке со стороны коллектора одна).

На крышке со стороны коллектора установлены щеткодержатели реактивного типа. Один щеткодержатель *23* щетки *24* расположен непосредственно на крышке, а второй щеткодержатель *19* щетки *18* — на изоляционной прокладке. Для изоляции щеткодержателя от крышки служат изоляционные втулки и шайбы. Щеткодержатель *19* соединен приводом *20* с клеммой *17* якоря.

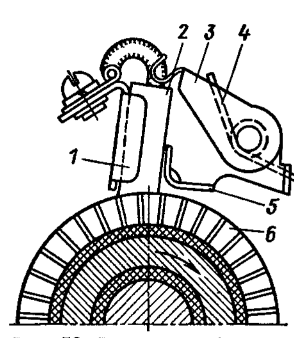


Рис. 52. Реактивный щеткодержатель генератора

В реактивном щеткодержателе (рис. 52) щетка установлена не по радиусу коллектора, а повернута против направления его вращения на угол 26—28° и прижата пружиной к направляющей стенке щеткодержателя и коллектору.

Корпус *1* щеткодержателя имеет три стенки (переднюю и две боковые), четвертой стенкой служит упор *5*. Обойма выполнена заодно с основанием, за которое щеткодержатель крепится к крышке. В обойму установлена щетка *2*. Наличие зазора 0,5—0,7 мм между щеткой и упором предотвращает ее зависание. Давление от пружины *4* через рычаг *3* передается на щетку (один конец пружины упирается в рычаг, другой — в выступ основания).

При вращении якоря возникает сила трения, которая действует на щетку со стороны коллектора *6* и способствует снижению давления щетки на переднюю стенку щеткодержателя. Поэтому трение щетки в щеткодержателе уменьшается, и щетка, следуя за неровностями коллектора, не отрывается от него даже при большой частоте вращения якоря. В результате резко снижается вибрация щетки, искрение под щеткой становится незначительным, повышается долговечность щетки и коллектора. В генераторах применяют электрографитовые щетки.

После установки щеток окна для их монтажа и осмотра закрывают защитной лентой 22 (см. рис. 51).

Привод генератора осуществляется через ременную передачу от коленчатого вала двигателя. На конце вала на шпонке закреплен одноручьевой шкив *8* с вентилятором *7*, обусловливающий применение ремня клиновидной формы. Для охлаждения генератора служит вентилятор *7* центробежного действия. Лопасти вентилятора и шкив отлиты из чугуна.

На корпусе *1* генератора расположены два выводных болта: болт *17* (клемма «Я») и болт *25* (клемма «Ш»), а также «массовый» винт «*М*», к которому присоединен провод от реле-регулятора.

§ 11. Вентильные генераторы с клювообразным ротором

Автотракторный вентильный генератор (рис. 53) представляет собой синхронную электрическую машину со встроенным полупроводниковым выпрямителем. Принцип действия таких машин известен. Отличительными особенностями рассматриваемых генераторов являются:

малая осевая длина, многополюсность и, следовательно, увеличенный диаметр; при таком соотношении размеров эффективность использования материалов высокая;

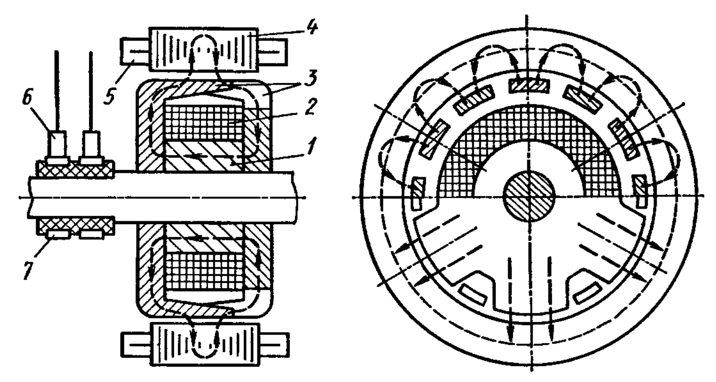


Рис. 53. Конструктивная схема автотракторного синхронного генератора с клювообразным ротором:

1 — втулка; 2 — обмотка возбуждения; 3 — клювообразные полюсы; 4 — пакет статора. 5 — обмотка якоря; 6 — щетки; 7 — контактные кольца

ротор — клювообразного типа;

обмотка возбуждения, состоящая из одной катушки, размещена внутри ротора;

малое число пазов на полюс и фазу (обычно $q \leqslant 1$, реже $q = 2$).

Число пазов на полюс и фазу равно $q = z_1/(2pm)$, где z_1 — число пазов статора, а m — число фаз.

Рассмотрим работу вентильного генератора и определим основные соотношения между напряжениями и силами тока на стороне переменного и выпрямленного напряжений.

На рис. 54 приведена принципиальная схема вентильного трехфазного генератора с выпрямителем, собранным по схеме трехфазного двухполупериодного выпрямления. В рассматриваемом генераторе обмотки статора соединены в звезду. Для этого соединения

$U_л = \sqrt{3} U_ф$ и $I_л = I_ф$.

При холостом ходе в фазах обмотки статора синхронного генератора индуктируется ЭДС

$$E_ф = 4k_ф k_0 [(pn/60)] w_ф \Phi_\delta,$$

где $k_ф$ — коэффициент, зависящий от формы кривой поля;

k_0 — обмоточный коэффициент;

$w_ф$ — число последовательно соединенных витков фазы;

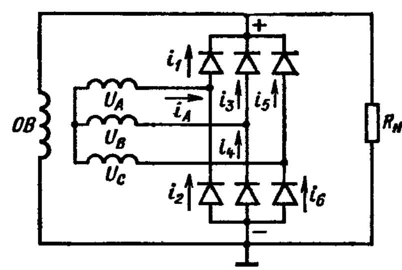


Рис. 54. Принципиальная схема вентильного генератора

Φ_δ — амплитудное значение магнитного потока в зазоре машины.

Величины, входящие в приведенную формулу, кроме n и Φ_δ, постоянные, т. е. $E_ф = C'_e n \Phi_\delta$.

Положим, что нагрузкой вентильного генератора является активное сопротивление $R_н$. При рассмотрении процесса выпрямления можно оперировать напряжениями фаз, которые равны

$$u_A = U_m \sin \omega t;$$

$$u_B = U_m \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right);$$

$$u_C = U_m \sin\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right),$$

где U_m — максимальное значение фазного напряжения;

$\omega = 2\pi f = (\pi p n)/30$ — угловая частота вращения.

Положим также, что вентили и их коммутация идеальные ($R_{пр} = 0$, $R_{обр} = \infty$).

В трехфазной мостовой схеме выпрямления имеется шесть вентилей: в верхней группе вентилей положительной полярности (1, 3, 5) катоды соединены между собой, в нижней группе вентилей отрицательной полярности (2, 4, 6) соединены между собой аноды. В проводящем направлении работает из верхней группы вентиль, у которого анод имеет наиболее высокий потенциал, а в нижней группе — вентиль, у которого катод имеет наиболее низкий потенциал. Следовательно, в любой момент времени работают два вентиля: один положительной полярности (верхний), другой отрицательной полярности (нижний). Каждый вентиль пропускает ток в течение одной трети периода ($T/3$).

К выпрямителю подается линейное напряжение генератора. Выпрямленное напряжение определяется ординатами, заключенными между верхней и нижней огибающими фазных напряжений u_A, u_B и u_C (рис. 55, *а*). Поэтому выпрямленное напряжение U_d пульсирующее, и частота пульсации в 6 раз больше частоты переменного напряжения, т. е.

$$f_п = 6f = (6pn)/60 = 0{,}1pn.$$

Минимальное ззначение выпрямленного напряжения равно $1{,}5U_m$, а максимальное —$1{,}73U_m$. Пульсация выпрямленного напряжения

$$\Delta U_d = (1{,}73 - 1{,}5)\, U_m = 0{,}23 U_m. \qquad (21)$$

Среднее значение выпрямленного напряжения (период пульсации $T/6$)

$$U_d = \frac{6}{T} \int\limits_{-T/12}^{T/12} \sqrt{3}\, U_m \cos \omega t \, dt = 1{,}65 U_m = 2{,}34 U_ф = 1{,}35 U_л. \qquad (22)$$

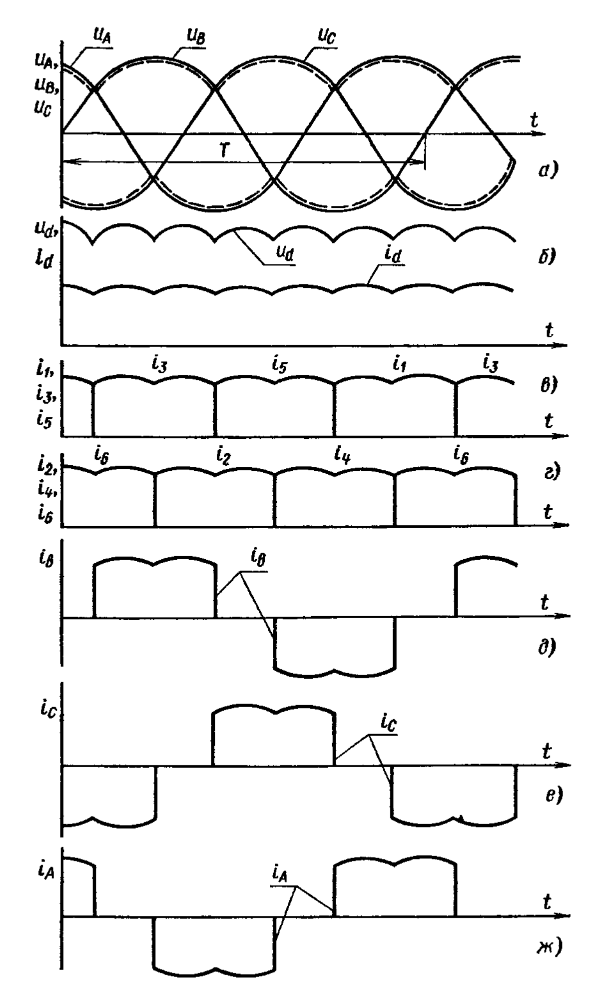


Рис. 55. Временные диаграммы напряжения и токов вентильного генератора

При определении интеграла необходимо иметь в виду, что $\omega = (2\pi)/T$.

Итак, для трехфазной мостовой схемы выпрямления среднее значение выпрямленного напряжения в 2,34 раза больше действующего фазного и в 1,35 раза больше действующего линейного напряжения.

Пульсацию выпрямленного напряжения можно выразить через среднее значение выпрямленного напряжения, подставив в (21) значение U_m, найденное из выражения (22):

$$\Delta U_d = 0{,}23 U_d / 1{,}65 = 0{,}139 U_d.$$

Так, например, при среднем значении выпрямленного напряжения 14 В пульсация равна 1,95 В. При этом максимальное значение выпрямленного напряжения равно 14,65 В, а минимальное 12,7 В.

При подключении к выпрямителю активной нагрузки $R_н$ протекает ток

$$i_d = U_d/R_н.$$

Следовательно, форма выпрямленного тока имеет такой же вид, как и выпрямленное напряжение, т. е. выпрямленный ток будет пульсирующим с амплитудой пульсации $I_{dm} = U_{dm}/R_н$ (рис. 55, *б*).

Среднее значение выпрямленного тока

$$I_d = \frac{6}{T} \int\limits_{-T/12}^{T/12} I_{dm} \cos \omega t \, dt = (3I_{dm})/\pi = 0{,}955 I_{dm}. \qquad (23)$$

Как было показано, каждый диод пропускает ток в течение одной трети периода ($T/3$). Поэтому токи i_1, i_2, i_3, i_4, i_5, i_6 имеют пульсирующий характер (рис. 55, *в*, *г*). Среднее значение тока одного диода равно $^1/_3 I_d$.

Токи, протекающие по фазным обмоткам генератора, можно определить, рассматривая соответствующие узлы выпрямителя. Так, например, согласно первому закону Кирхгофа, $i_A + i_2 - i_1 = 0$ или $i_A = i_1 - i_2$.

Таким образом, фазные токи имеют несинусоидальный прерывистый характер (рис. 55, *д*, *е*, *ж*).

Действующее значение фазного тока

$$I_ф = \sqrt{\frac{4}{T} \int\limits_{T/6}^{T/3} I_{dm}^2 \sin^2 \omega t \, dt} = 0{,}775 I_{dm}. \qquad (24)$$

Из соотношений (23) и (24) следует, что

$$I_ф = 0{,}815 I_d.$$

Обычно при определении действующего значения фазного тока полагают, что форма фазного тока прямоугольная и имеет амплитуду, равную среднему значению выпрямленного тока I_d. В этом случае

$$I_ф = \sqrt{\frac{4}{T} \int\limits_{T/3}^{T/3} I_d^2 \, dt} = \sqrt{2/3} I_d = 0{,}816 I_d. \qquad (25)$$

Сравнение формул показывает, что погрешность невелика, и при расчетах можно пользоваться формулой (25).

При рассмотрении соотношений напряжений и токов вентильного генератора следует учитывать, что полупроводниковые вентили (диоды) не являются идеальными.

Вольт-амперная характеристика кремниевого диода приведена на рис. 56. С достаточной для инженерных расчетов точностью прямая вольт-амперная характеристика силовых вентилей в состоянии высокой проводимости может быть аппроксимирована уравнением

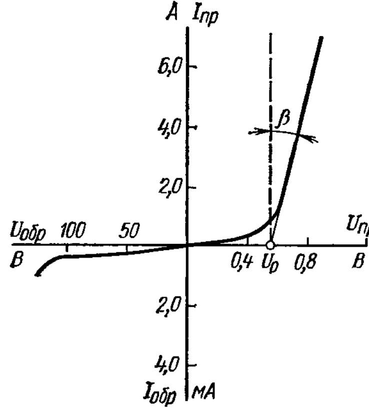
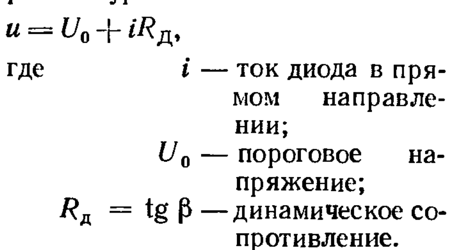


Рис. 56. Вольт-амперные характеристики кремниевого диода



$u = U_0 + iR_Д$,

где i — ток диода в прямом направлении;

U_0 — пороговое напряжение;

$R_д = \operatorname{tg} \beta$ — динамическое сопротивление.

При аппроксимации прямую линию проводят через две точки $i = 4{,}71 I_п$ и $i = 1{,}57 I_п$, где $I_п$ — предельный или номинальный ток диода. Прямое падение напряжения $\Delta U_{пр}$ (среднее значение) связано с пороговым напряжением U_0 и динамическим сопротивлением $R_Д$ следующим выражением:

$$\Delta U_{пр} = \frac{U_0}{2} + I_{пр} R_Д.$$

Для диодов, применяемых в автотракторном электрооборудовании, пороговое напряжение $U_0 = 0{,}8 \div 1{,}0$ В.

Следует отметить, что коммутация в вентильных генераторах не является идеальной. Накопленная электромагнитная энергия в индуктивностях генератора приводит к тому, что ток гаснущего диода исчезает не мгновенно, а ток вступающего в работу диода нарастает постепенно.

В результате с повышением нагрузки изменяется соотношение между напряжениями на входе и выходе выпрямителя, а также соотношение между выпрямленным и фазным током. В режимах, близких к холостому ходу, форма фазного напряжения близка к синусоиде, а кривые фазного тока имеют значительные искажения. По мере увеличения нагрузки картина изменяется. Форма фазного напряжения искажается, а форма фазного тока приближается к синусоиде.

С учетом перечисленных факторов (сопротивление диода в прямом направлении и реальной коммутации) значение фазного напряжения может быть определено не из выражения (22), а в общем случае по формуле

$$U_ф = (U_d + 2\Delta U_{пр}) / k_{сх} k_в k_у, \qquad (26)$$

где $\Delta U_{пр}$ — прямое падение напряжения на диоде;

$k_{сж} = 2 \sin \pi/m$ — коэффициент схемы выпрямления (для

однополупериодных схем выпрямления и для соединения обмоток генератора в многоугольник $k_{сх} = 1$);

$k_в = \frac{2m\sqrt{2}}{\pi} \sin \frac{\pi}{2m}$ — коэффициент выпрямления (при $m = 3$ $k_в = 1{,}35$);

$k_\gamma = \frac{1 + \cos\gamma}{2}$ — коэффициент, учитывающий коммутацию;

γ — угол коммутации;

m — число фаз генератора.

Сила фазного тока с учетом коммутации равна

$$I_ф = \sqrt{\frac{2}{3}(1 - 0{,}0425\gamma m)}\, I_d. \quad (27)$$

Выходными параметрами вентильного генератора являются:
среднее значение выпрямленного напряжения U_d;
среднее значение выпрямленного тока I_d;
выпрямленная мощность $P_d = U_d I_d$.

Характеристики вентильных генераторов имеют некоторые особенности, обусловленные наличием выпрямителя.

Характеристика холостого хода вентильного генератора представляет собой зависимость выпрямленного напряжения от силы тока возбуждения $E_d = f(I_в)$ при $n = \text{const}$ и $I_d = 0$. Обычно характеристики холостого хода вентильного генератора снимают при независимом возбуждении.

Семейство характеристик холостого хода вентильного генератора приведено на рис. 57. Необходимо отметить, что степень насыщения магнитной системы у вентильных генераторов выше, чем у генераторов постоянного тока. По характеристикам холостого

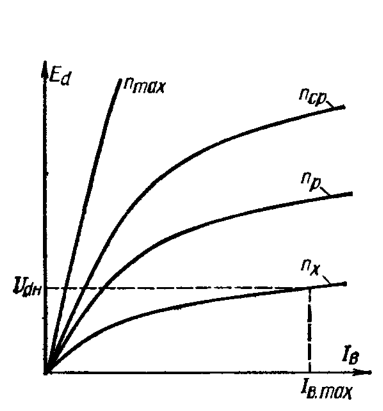


Рис. 57. Характеристики холостого хода вентильного генератора

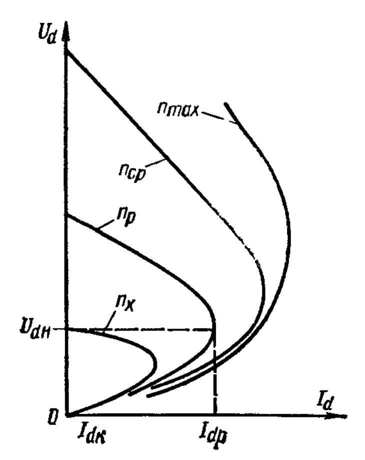


Рис. 58. Внешние характеристики вентильного генератора

хода вентильного генератора можно построить и аналогичные характеристики синхронного генератора. Для этого необходимо воспользоваться формулой (26), приняв $k_\gamma = 1$, $\Delta U_{пр} = 0$.

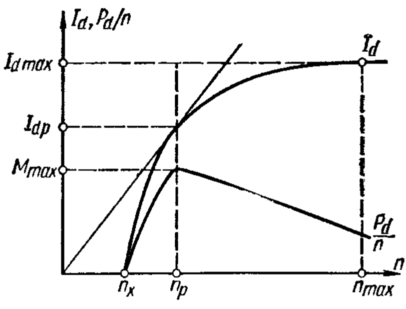


Рис. 59. Токоскоростная характеристика вентильного генератора

Внешние характеристики вентильного генератора (рис. 58) при работе генератора в режиме самовозбуждения представляют собой зависимость выпрямленного напряжения от тока нагрузки $U_d = f(I_d)$ при $n = \text{const}$ и $R_в = \text{const}$. При увеличении нагрузки выпрямленное напряжение падает под действием реакции якоря, падения напряжения в цепи якоря и в выпрямителе и уменьшения силы тока возбуждения. Падение напряжения в выпрямителе невелико ($R_{пр} = 0{,}005 \div 0{,}01$ Ом), падение напряжения в обмотках якоря значительно и зависит от частоты вращения ротора.

Полное сопротивление обмотки якоря

$$z_ф = \sqrt{R_ф^2 + x_ф^2} = \sqrt{R_ф^2 + \left(2\pi \frac{pn}{60} L\right)^2},$$

где $R_ф$ — активное сопротивление фазы;

$x_ф = 2\pi f L = 2\pi\,[(pn)/60]\,L$ — синхронное индуктивное сопротивление фазы;

L — индуктивность фазы.

Поэтому с повышением частоты вращения крутизна спада выпрямленного напряжения увеличивается. Верхняя ветвь внешней характеристики (до критического значения тока) соответствует устойчивой работе генератора, а нижняя — неустойчивой. Сила тока короткого замыкания у вентильного генератора значительно меньше, чем у генератора постоянного тока.

Токоскоростная характеристика вентильного генератора $I_d = f(n)$ при $U_d = \text{const}$, $R_в = \text{const}$ (рис. 59) может быть определена при независимом возбуждении или при самовозбуждении. Она может быть построена и по внешним характеристикам.

Обычно число витков обмотки якоря и обмотки возбуждения вентильного генератора подбирают таким образом, чтобы минимальная частота вращения n_x, при которой в режиме холостого хода выпрямленное напряжение достигает номинального значения $U_{dн}$, была возможно меньшей. Тогда, несмотря на повышение частоты вращения ротора, сила тока генератора возрастает медленно, и при максимальной частоте вращения она не превышает заданного максимального значения, т. е. генератор приобретает свойство самоограничения силы тока. В этих случаях ограничитель тока не требуется.

Токоскоростная характеристика с достаточной степенью точности аппроксимируется уравнением

$$I_d = I_{d\,max}\left(1 - e^{\frac{n_x - n}{n_x}}\right) \text{ при } n \geqslant n_x. \qquad (28)$$

Для вентильных генераторов с самоограничением понятие о номинальной мощности не имеет смысла. Поэтому расчетные (номинальные) значения мощности, тока, частоты вращения устанавливают по режиму, соответствующему максимальному значению отношения выпрямленной мощности к частоте вращения $P_d/n = M$.

Положим, что токоскоростная характеристика выражается экспоненциальным законом (28), тогда расчетные значения можно определить, если из начала координат провести касательную к токоскоростной характеристике $I_d = f(n)$ (рис. 59). Точка касания определяет расчетные величины $I_{d\,р}$ и $n_р$.

Регулировочно-скоростные характеристики вентильного генератора $I_в = f(n)$ при $U_{d\,н} = \text{const}$ и $I_d = \text{const}$ по характеру аналогичны характеристикам генератора постоянного тока. Однако кратность регулирования силы тока возбуждения у вентильных генераторов больше, что связано с более глубоким насыщением магнитной цепи, обеспечивающим получение необходимой токоскоростной характеристики. Значительно шире и поле регулирования.

Конструкцию автомобильного вентильного генератора с клювообразным ротором рассмотрим на примере генератора Г 250.

Генератор Г 250 (рис. 60) состоит из следующих узлов: статора (якоря), ротора, крышки со стороны контактных колец, крышки со стороны привода, шкива с вентилятором, щеткодержателя.

Статор. Пакет *1* набирают из пластин электротехнической стали толщиной 0,5 мм каждая. Две крайние пластины для повышения жесткости изготовлены из стали 10 и имеет толщину 2 ± 0,13 мм. Пластины в шести точках по наружной поверхности пакета соединены сваркой.

Внутренняя часть пакета имеет 18 равномерно расположенных по окружности пазов ($q = 0{,}5$) трапецеидального сечения, в которых уложена однослойная обмотка якоря *2*, подобная волновым обмоткам машин постоянного тока. Обмотка трехфазная катушечная соединена в звезду. Каждая фаза состоит из шести непрерывно намотанных катушек. Каждая катушка состоит из 13 витков медного провода марки ПЭВ-2 диаметром 1,35/1,46 мм. Число витков в фазе равно 78; сопротивление фазы в холодном состоянии генератора 0,086 Ом. Статор является якорем синхронного генератора.

Ротор. Втулка *5* и примыкающие к ней два клювообразных полюсных наконечника *3* образуют 12-полюсную магнитную систему.

Когтеобразные полюсные наконечники изготовляют методом холодной штамповки из полосовой стали толшиной 12 мм с после-

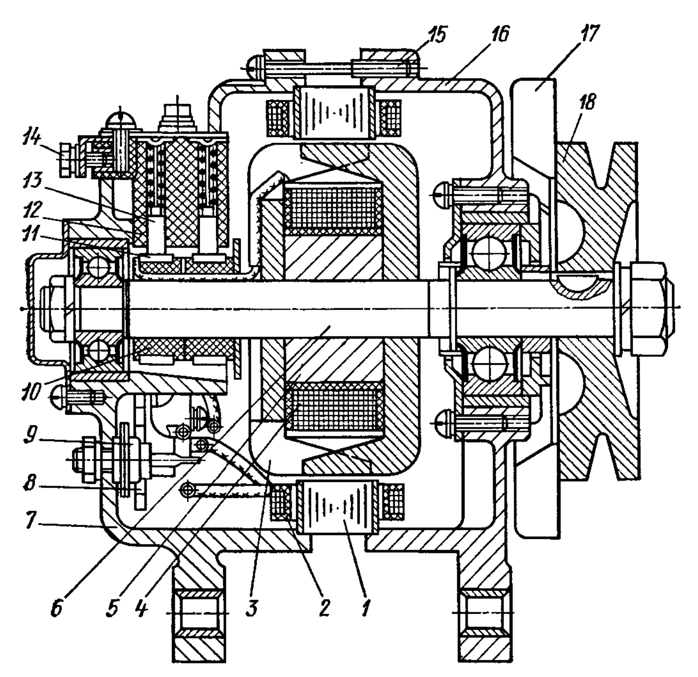


Рис. 60. Автомобильный генератор Г 250:

1 — пакет статора; *2* — обмотка статора; *3* — фланцы с клювообразными полюсами *4* — обмотка возбуждения; *5* — втулка обмотки возбуждения; *6* — вал; *7* — задняя крышка; *8* — теплоотвод с диодами положительной полярности; *9* — диод отрицательной полярности; *10* — изоляционные втулки контактных колец; *11* — контактные кольца; *12* — щеткодержатель; *13* — щетки; *14* — вывод обмотки возбуждения «Ш»; *15* — стяжная шпилька; *16* — передняя крышка; *17* — вентилятор; *18* — шкив

дующей обработкой по наружному диаметру. Для снижения магнитного шума часть наружной поверхности полюса ротора имеет скосы (на сбегающем крае). Втулка и полюсные наконечники ротора закреплены на валу посредством прессовой посадки на накатку.

Обмотка возбуждения *4* намотана на втулку *5* в несколько рядов. Всего намотано 490 витков медного провода диаметром 0,74/0,83 мм. Провод в рядах укладывают плотно, виток к витку, между рядами прокладывают слои конденсаторной бумаги. По бокам катушки возбуждения устанавливают защитные картонные шайбы, а сверху катушку обклеивают специальной бумагой, которая образует наружную изоляцию. Сопротивление обмотки в холодном состоянии 3,7 Ом. Концы обмотки возбуждения припаяны к двум изолированным одно от другого и от вала медным контактным кольцам *11*.

Для снижения вибрации осуществляют статическую и динамическую балансировку. Допустимый динамический дисбаланс в каждой плоскости равен 4 гсм. Ротор синхронного генератора является

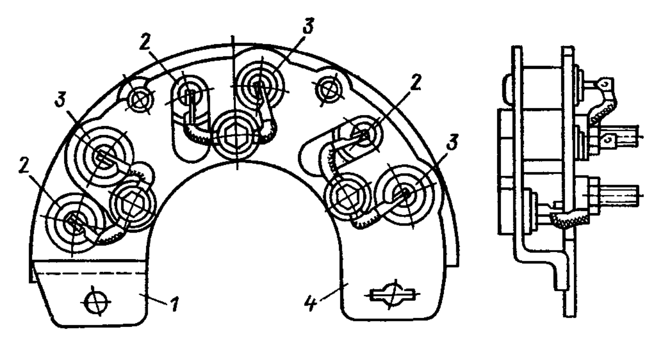


Рис. 61. Выпрямительный блок БПВ4-45:

1 - отрицательная сборная шина; *2* — диоды ВА-20 обратной полярности; *3* — диоды ВА-20 прямой полярности

индуктором. Статор и ротор для повышения электрической прочности, теплопроводности и цементирования витков катушек пропитывают глифталевым лаком.

Крышки генератора *7*, *16* выполнены из алюминиевого сплава методом литья под давлением. Посадочные места под шарикоподшипники и отверстия в лапах для крепления генератора к двигателю для предотвращения износа армированы стальными втулками. В крышках установлены закрытые шарикоподшипники с двусторонним резиновым уплотнением и одноразовой кремнийорганической смазкой.

Крышка со стороны привода (передняя) *16* имеет вентиляционные отверстия, а также два резьбовых отверстия для съема крышки с вала ротора в процессе разборки генератора. Крышка со стороны контактных колец (задняя крышка) *7* имеет также вентиляционные отверстия и кронштейн (лапу) для крепления генератора на двигателе. На крышке *7* расположен пластмассовый щеткодержатель *12* с двумя прямоугольными медно-графитовыми щетками *13*. Размеры щеток 6×6,5×15 мм. Внутри крышки смонтирован трехфазный двухполупериодный выпрямитель на диодах *9*. Для повышения надежности выпрямительного устройства и снижения трудоемкости при сборке в генераторах Г 250 применяют выпрямительные блоки ВБГ-1 и БПВ4-45 (рис. 61).

Блок БПВ4-45 имеет отрицательную сборную шину *1*, в которой запрессованы три диода *2* (типа ВА-20) обратной полярности, и положительную сборную шину *4*, в которую запрессованы три диода *3* (типа ВА-20) прямой полярности. Сборные шины являются токоведущими элементами. Одновременно их используют для теплоотвода. Шины электрически изолированы. В сборных шинах имеются вентиляционные отверстия. Шесть диодов блока соединены между собой и образуют трехфазную двухполупериодную схему выпрямления. В местах соединения разнополярных диодов имеются клеммы для присоединения фазовых обмоток генератора.

В блоке БПВ4-45 возможна замена вышедшего из строя диода. Выпрямительные блоки БПВ4-45 и ВБГ-1 взаимозаменяемы.

Для охлаждения катушек обмотки статора, а также кремниевых диодов выпрямителя в генераторе служит протяжная вентиляция, осуществляемая при помощи крыльчатки вентилятора *17*, связанной с приводным шкивом генератора. Крыльчатка генератора штампованная, изготовлена из тонколистовой стали и имеет десять лопастей. Шкив генератора литой.

Разъемное соединение обмотки статора с выпрямителем упрощает сборку, разборку и ремонт генератора. Выводные болты генератора (клеммы +, — и Ш) расположены на торце крышки со стороны щеточного узла, что обеспечивает удобный доступ к ним.

Генераторы переменного тока Г 250 устанавливают как на легковых, так и на грузовых автомобилях малой и средней грузоподъемности с 12-вольтовой системой электрооборудования.

Все модификации генератора переменного тока типа Г 250 полностью унифицированы и отличаются лишь размерами приводных шкивов.

Генератор Г 221 отливается от генератора Г 250 тем, что имеет обмотку двухслойную, по типу волновой обмотки машин постоянного тока, с числом пазов на полюс и фазу $q = 1$ (число пазов статора $z = 36$). Катушка охватывает три зубца. Фазные обмотки соединены в звезду, а общая точка выведена на клеммную панель.

Генераторы Г 290 и Г 263А с встроенным выпрямителем на вентилях ВК 50 или ВКД 50 являются базовыми для автомобилей с повышенной мощностью потребителей электроэнергии. Отличаются от генераторов Г 250 размерами, конструкцией статора, типом вентилей в выпрямителе, а также экранированным исполнением. Внутренняя часть статора имеет 72 паза, равномерно расположенных по окружности. В пазах расположена трехфазная двухслойная обмотка по типу волновой обмотки машин постоянного тока с числом пазов на полюс и фазу $q = 2$. Фаза состоит из 24 секций, соединенных последовательно. Секция имеет один виток прямоугольного провода ПЭВ (1,95×4,4 м). Соединение секцией производится при помощи скоб и пайки. Фазы соединены в звезду.

Следует отметить, что в автотракторных генераторах распространено соединение фазовых обмоток не только в звезду, но и в треугольник (генератор Г 286). Это позволяет при той же мощности употреблять более тонкие обмоточные провода, а следовательно, повышать технологичность изготовления обмоток. С этой же целью в генераторах применяют соединение обмоток в двойную звезду (генератор Г 287) или двойной треугольник. Соединение обмоток фаз в звезду с выведенной нулевой точкой нашло место в генераторах с номинальным выпрямленным напряжением 28 В для использования индуктора и реле-регулятора 14В системы.

В настоящее время выпускаются генераторы со встроенными выпрямителем и интегральным регулятором напряжения (генераторы Г 266 и Г 273).

Напряжение вентильного генератора с клювообразным ротором, так же как и в генераторах постоянного тока, регулируют путем изменения силы тока возбуждения.

§ 12. Вентильные генераторы индукторного типа

Генераторы переменного тока с клювообразным ротором имеют контактные кольца и щетки, которые определяют долговечность генератора. Долговечность бесконтактного генератора ограничена износом подшипников и старением изоляции обмоток. Бесконтактные генераторы необходимы на тракторах и автомобилях с особо тяжелыми условиями эксплуатации. К бесконтактным относятся индукторные генераторы. Принцип действия индукторного генератора можно пояснить следующим образом.

Рассмотрим электромагнит (рис. 62) с обмоткой возбуждения (ОВ), по которой протекает постоянный ток. Полюсы электромагнита имеют расточку в виде пазов, в которые заложены катушки. Между полюсами установлен ротор в виде звездочки.

Положим, что на длину дуги расточки электромагнита (статора) приходится целое число зубцовых делений ротора и что зубцовые шаги статора и ротора находятся в соотношении $t_1 = 0{,}5t_2$.

Если открытие паза мало, то при вращении ротора полное сопротивление магнитопровода не меняется. Следовательно, при неизменной МДС F неизменным будет и поток Φ, проходящий по всему магнитопроводу. Независимо от положения ротора большая часть потока проходит через зубцы ротора и только незначительная часть — через пазы.

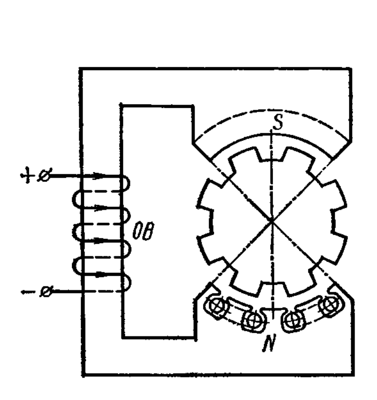


Рис. 62. Электромагнит с вращающимся ротором

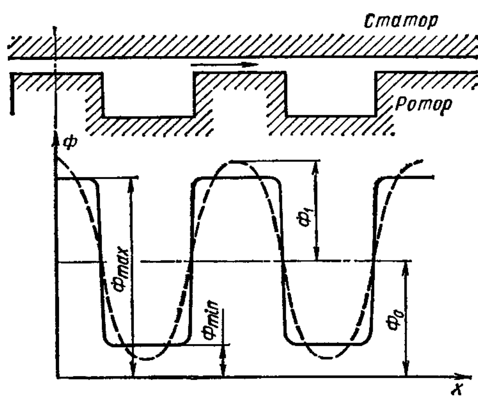


Рис. 63. Распределение магнитного потока в вазоре индукторной машины

При вращении ротора положение его зубцов по отношению к каждому из зубцов статора изменяется, и поток, проходящий по каждому зубцу статора, периодически изменяется от максимального значения (когда оси зубцов совпадают) до минимального (когда ось зубца статора совпадает с осью паза ротора). Изменение магнитного потока в зубцах статора вызывает появление ЭДС в обмотке якоря.

Изменение магнитного потока в воздушном зазоре по длине окружности якоря показано на рис. 63. Очевидно, что функция $\Phi = f(x)$ обладает симметрией относительно осей координат. Поэтому при ее разложении в ряд Фурье она будет содержать только постоянную составляющую и нечетные косинусоиды.

$$\Phi = \Phi_0 + \Phi_1 \cos x + \Phi_3 \cos 3x + \Phi_5 \cos 5x + \cdots$$

Если пренебречь высшими гармоническими составляющими, получим следующее выражение:

$$\Phi = \Phi_0 + \Phi_1 \cos x,$$

где $\Phi_0 = 0,5\,(\Phi_{max} + \Phi_{min})$ — постоянная составляющая магнитного потока;

$\Phi_1 = 0,5\,(\Phi_{max} - \Phi_{min})$ — амплитуда первой гармоники.

В этом случае поле первой гармоники под пазом ротора имеет один знак, а под зубцом ротора — противоположный. Следовательно, зубец и паз ротора для потока первой гармоники можно рассматривать как полюсы разноименной полярности.

Число пар полюсов в рассматриваемом случае равно числу зубцов ротора, т. е. $p = z_2$.

При вращении ротора со скоростью $\omega = 2\pi f$ ($x = \omega t$) изменение потока в зазоре можно представить формулой $\Phi = \Phi_0 + \Phi_1 \cos \omega t$.

Изменение магнитного потока в зубце статора индуктирует в катушке, расположенной на зубце, ЭДС

$$e_к = w_к \frac{d\Phi}{dt} = \omega w_к \Phi_1 \sin \omega t,$$

где $w_к$ — число витков в катушке.

Мгновенное значение ЭДС в фазе обмотки якоря равно

$$e_1 = w_к z_s = \omega e_к z_s \Phi_1 \sin \omega t = E_m \sin \omega t,$$

где $E_m = \omega w_к z_s \Phi_1$ — амплитудное значение ЭДС;

z_s — число последовательно включенных катушек фазы.

Действующее значение ЭДС фазы с учетом реальной формы магнитного потока в зазоре определяем по формуле

$$E_1 = 2,22\,\frac{z_2 n}{60}\,w_к z_к\,(\Phi_{max} - \Phi_{min}).$$

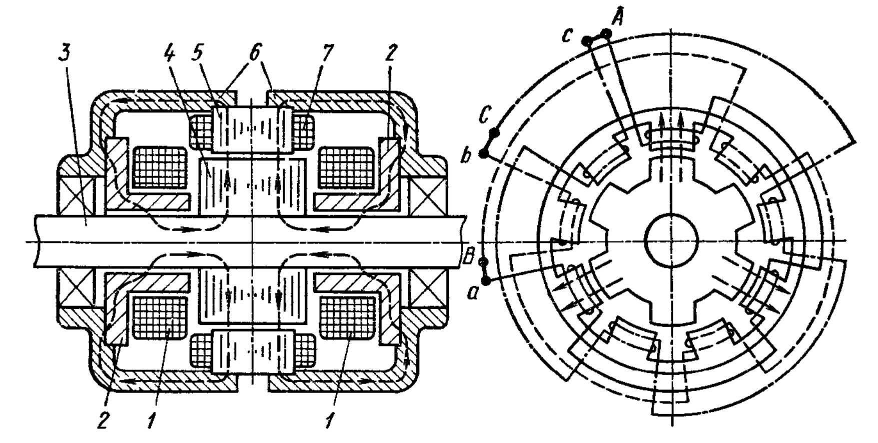


Рис. 64. Аксиально возбуждаемый индукторный генератор с двусторонним возбуждением:

1 — обмотка возбуждения; 2 — магнитные системы индуктора (втулка с фланцем); 3 — вал; 4 — звездочка ротора; 5 — магнитопровод якоря; 6 — крышки; 7 — обмотка якоря

Таким образом, при вращении ротора в витках катушки статора индуктируется переменная ЭДС с частотой, пропорциональной частоте вращения ротора.

На рассмотренном принципе и работает индукторный генератор.

Итак, индукторной называется такая электрическая машина, у которой основной поток в произвольной точке расточки статора изменяется только по величине, и изменение потока, сцепленного с обмоткой якоря, вызвано перемещением ферромагнитной массы.

Если в качестве параметра классификации принять особенности магнитной цепи индукторной части машины, то индукторные генераторы можно разделить на аксиально-возбуждаемые (катушки возбуждения расположены вдоль оси машины) и радиально-возбуждаемые (катушки возбуждения расположены вдоль радиусов машины). Расположение обмотки возбуждения оказывает существенное влияние на конструкцию машины, ее характеристики и свойства.

В настоящее время в автотракторном электрооборудовании распространены аксиально-возбуждаемые машины (рис. 64, 65).

Обмотка возбуждения *1*, по которой протекает постоянный ток, создает в магнитной системе поток, который при вращении ротора остается постоянным по величине и направлению. Этот поток замыкается, проходя через воздушный зазор между втулкой и валом *3*, звездочку *4*, воздушный зазор между ротором и статором, магнитопровод якоря *5*, крышку *6*, толстостенную шайбу втулки.

Путь и направление магнитного потока указаны пунктирной линией и стрелками. Все зубцы роторного пакета имеют одну полярность (в данном случае северную). Такие электрические машины

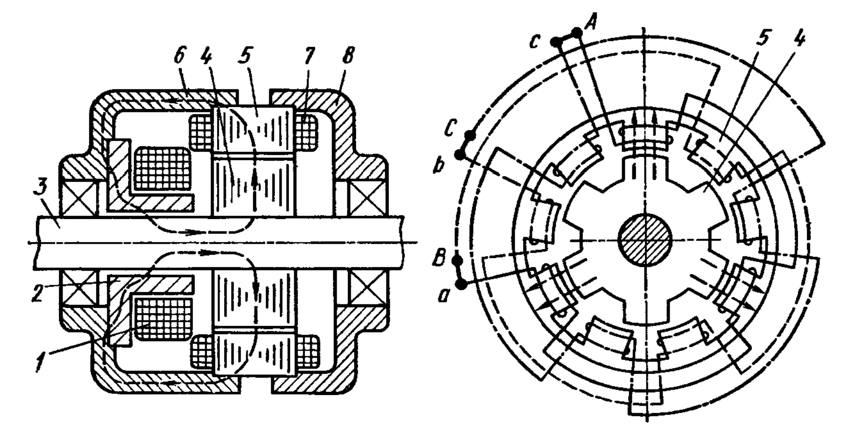


Рис. 65. Аксиально-возбуждаемый индукторный генератор с односторонним возбуждением:

поз *1—7* см. рис. 64; *8* — крышка

называют одноименно-полюсными с пульсирующим полем или униполярными. Иногда эти машины называют индукторными машинами с магнитным потоком вдоль оси вала.

Аксиально-возбуждаемые генераторы могут быть выполнены однопакетными и двухпакетными (в одном корпусе несколько отдельных генераторов), однофазными и многофазными.

Таким образом, в синхронном индукторном генераторе обмотка якоря и обмотка возбуждения расположены неподвижно, т. е. не требуют подвижных контактов. Следовательно, индукторные генераторы являются бесконтактными.

Конструкцию бесконтактного вентильного генератора индукторного типа рассмотрим на примере генератора Г 306.

Генератор Г 306 (рис. 66) представляет собой бесконтактиую трехфазную одноименно-полюсную электрическую машину с односторонним электромагнитным возбуждением и встроенным выпрямительным блоком, собранным по трехфазной двухполупериодной схеме выпрямления на кремниевых вентилях типа ВА. Он состоит из ротора, статора, задней крышки, передней крышки, выпрямителя, шкива-вентилятора.

Мощность генератора 400 В, напряжение 14 В.

Ротор состоит из вала *1* и насаженного на него пакета *2*. Пакет ротора представляет собой шестилучевую звездочку, набранную из листов электротехнической стали толщиной 0,5 мм, соединенных заклепками. На длинный конец вала плотно насажена втулка из магнитного материала (практически без зазора), которая в собранном генераторе одним торцом упирается в торец пакета, а другим — в торец внутреннего кольца подшипника. Расположенная на валу втулка как бы создает ступенчатую конфигурацию вала, которая необходима для снятия магнитного насыщения вала при

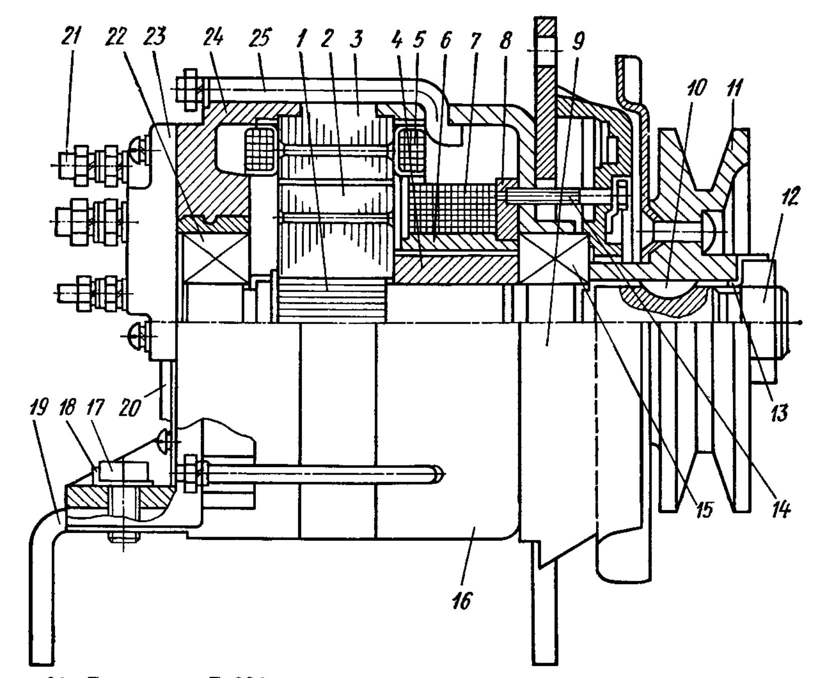


Рис. 66. Генератор Г 306

1 — вал; *2* — пакет (ферромагнитная масса); *3* — пакет статора; *4* — втулка вала; *5* — обмотка якоря; *6* — втулка обмотки возбуждения; *7* — катушка возбуждения; *8* — фланец; *9* — корпус выпрямителя; *10* — шпонка; *11* — шкив вентилятора; *12* — гайка; *13* — стопорная шайба; *14* — винт крепления выпрямителя; *15* — подшипник; *16* — передняя крышка; *17* — болт крепления лапы; *18* — стопорная шайба; *19* — передвижная лапа; *20* — крышка подшипника; *21* — выводные клеммы; *22* — подшипник; *23* — клеммная колодка; *24* — задняя крышка; *25* — стяжная фасонная шпилька

прохождении потока через дополнительный паразитный зазор. Вал вращается в шарикоподшипниках *22* закрытой конструкции. Закрытые подшипники не требуют дополнительной смазки или ее замены, т. е. не требуют обслуживания.

Статор в сборе состоит из пакета *3* и трехфазной обмотки якоря *5*. Пакет *3* набран из пластин электротехнической стали толщиной 0,5 мм. Пластины на внутренней стороне имеют девять открытых трапецеидальных пазов ($z_1 = 9$). Для повышения жесткости статора и обеспечения необходимой точности посадочных мест под подшипник крайние пластины имеют большую толщину (2 мм). Пластины между собой соединены заклепками.

Обмотка фазы якоря состоит из трех катушек, которые намотаны проводом ПЭВ-2 диаметром 1,35 мм. Каждая катушка имеет 28 витков, катушки включены последовательно. Фазы обмоток соединены в треугольник. Катушки фаз предварительно наматывают на шаблон, а лобовые части катушек закрепляют для предотвращения рассыпания витков хлопчатобумажной лентой. Готовые комплекты катушек расположены в пазах (на зубцах) и закреплены

посредством клиньев. Катушки изолированы от пакета прокладками из электроизоляционного картона.

Таким образом, генератор Г 306 имеет $z_1 = 9$, $z_2 = 6$, $m = 3$, следовательно, число пазов на полюс и фазу $q = 0{,}25$.

Передняя крышка *16* имеет форму стакана, ко дну которого приварены диаметрально расположенные лапы. На торцовой части крышки прорублен паз для размещения вывода от катушки возбуждения, на цилиндрической части — три отверстия для установки стяжных болтов, а также два отверстия для стока конденсата и попавшей внутрь генератора воды. В крышке расположены втулка с фланцем и катушка обмотки возбуждения *7*. Крышка *16*, втулка *6* и фланец *8* являются частью магнитопровода машины. Поэтому они выполнены из магнитной стали, причем крышка одновременно является и подшипниковым щитом.

Втулка *6* с фланцем *8* фиксирована по диаметру посредством выточки во втулке, втулка развальцована. Фланец к крышке крепится винтами. Катушка возбуждения намотана на каркас (провод ПЭВ-2 диаметром 0,72 мм, число витков 460). Один конец катушки возбуждения соединен с втулкой, а другой выведен через торец крышки гибким монтажным проводом к клемме «+».

Подшипник *15*, расположенный на передней крышке, по наружному кольцу жестко защемлен фланцем втулки возбуждения и корпусом *9* выпрямителя, а по внутреннему — втулкой *4* вала и ступицей шкива *11*.

Для повышения электрической прочности, теплопроводности и значительного уменьшения гигроскопичности статор в сборе и обмотка возбуждения пропитаны водоэмульсионным лаком.

Крышка задняя *24* литая, изготовлена из алюминиевого сплава. К ее приливу посредством двух болтов *17* крепится стальная лапа *19*. На торцовой части крышки предусмотрены два овальных отверстия для размещения клеммной колодки с выводами. Два паза на цилиндрической части крышки предназначены для прохода выводов, а два отверстия — для стока конденсата и попавшей внутрь генератора воды. Подшипник *22* в задней крышке плавающей, с наружной стороны закрыт крышкой *20*.

Выпрямитель (рис. 67) состоит из оребренного корпуса *8*, выполненного из алюминиевого сплава АЛ-9, трех запрессованных в него диодов *3* обратной полярности и изолированного от корпуса тонкой электроизоляционной миканитовой прокладкой *5* теплоотвода *4* с тремя запрессованными в него диодами *2* прямой полярности. Теплоотвод *6* крепится к корпусу выпрямителя тремя винтами *7*, изолированными от теплоотвода втулками *4*.

Положительный вывод от теплоотвода выполнен из гибкого провода. Диоды прямой полярности дополнительно изолированы от корпуса изоляционными прокладками *1* из электрокартона. Выводы диодов прямой и обратной полярности соединены между собой и с началами фаз генератора (соединение осуществлено при помощи выводных болтов).

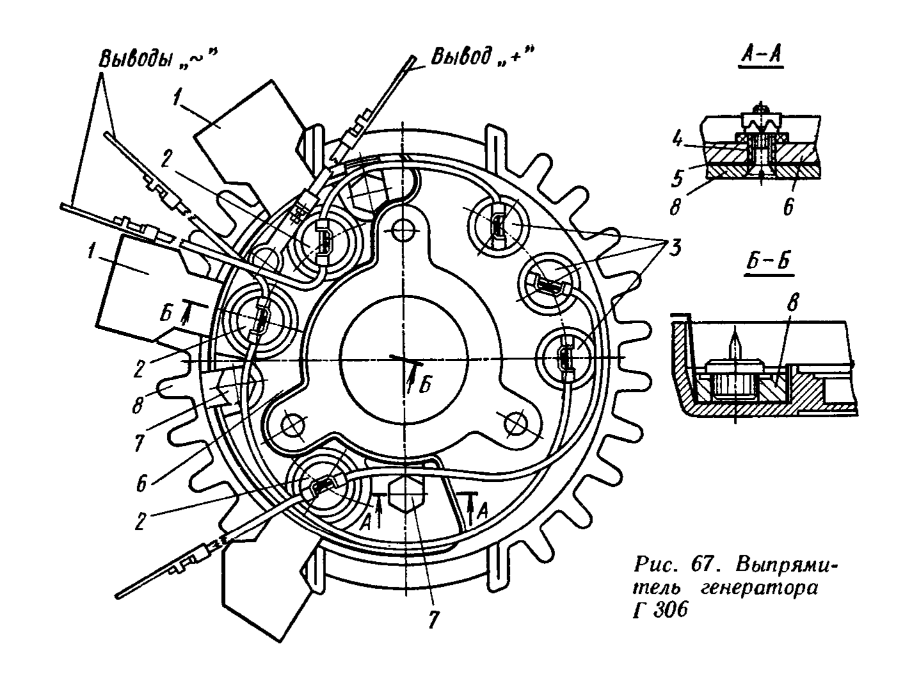


Рис. 67. Выпрямитель генератора Г 306

Выпрямитель в сборе крепится на передней крышке при помощи винтов. Чтобы предотвратить попадание в выпрямитель мелких предметов, пыли и грязи, между корпусом выпрямителя и крышкой генератора уложено резиновое кольцо.

Шкив-вентилятор со стороны конца вала имеет три отверстия, расположенных под углом 120°, с резьбой М5 для ввинчивания винтов съемника. К шкиву прикреплена крыльчатка осевого вентилятора, обеспечивающего охлаждение выпрямителя и генератора. Крыльчатка имеет четырнадцать радиально расположенных лопастей.

Все модификации генератора Г 306 полностью унифицированы и отличаются лишь размерами приводных шкивов. Принятые посадочные размеры генератора и диаметральное расположение лапы крепления и натяжного уха позволяют устанавливать генератор на различных тракторах и сельскохозяйственных машинах. Срок службы генератора Г 306 составляет не менее 5000 моточасов.

Некоторые генераторы имеют конусные втулку 2 и вал 3 (рис. 68). Такое конструктивное решение позволяет получать соответствие сечения магнитопровода магнитному потоку, а следовательно, уменьшить магнитное сопротивление магнитопровода. Однако это приводит к усложнению технологии, излишнему расходу материалов, а следовательно, к повышению стоимости генератора. Уменьшение магнитного сопротивления в зоне зазора получают введением промежуточной втулки, насаживаемой на вал.

В настоящее время выпускают вентильные индукторного типа генераторы Г 309, Г 310, Г 311 повышенной мощности (1—2 кВт) номинальным напряжением 14 и 28 В. Принципиально генераторы Г 309 и Г 311 отличаются от генератора Г 306 тем, что имеют пятифазную обмотку статора.

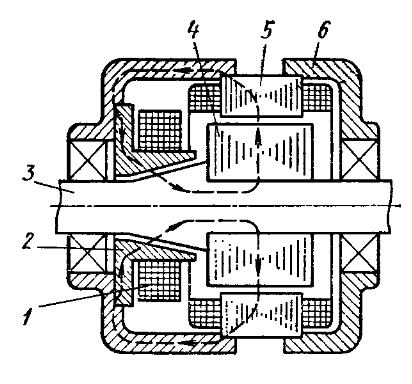


Рис. 68. Конструктивная схема системы возбуждения с конусной втулкой и конусным валом:

1 — обмотка возбуждения; 2 — конническая втулка; 3 — вал; 4 — звездочка ротора; 5 — якорь; 6 — крышка

Вентильные генераторы индукторного типа имеют меньшую удельную мощность по сравнению с вентильными генераторами с клювообразным ротором. Для тракторов и машин, работающих в тяжелых условиях, незначительное увеличение массы окупается повышением надежности.

Характеристики вентильного генератора индукторного типа отличаются от характеристик вентильного генератора с клювообразным ротором. Связано это с различными способами образования магнитного потока.

Напряжение вентильного генератора индукторного типа регулируется так же, как и в генераторах постоянного тока путем изменения тока возбуждения.

Следует отметить, что самовозбуждение вентильного генератора индукторного типа затруднено из-за наличия дополнительного зазора. Это приводит к возрастанию критической частоты самовозбуждения. Процесс самовозбуждения может происходить под нагрузкой, что также затрудняет самовозбуждение. Поэтому начальное возбуждение этих генераторов обычно осуществляется от аккумуляторных батарей.

§ 13. Автотракторные генераторы переменного тока с постоянными магнитами

Генераторы переменного тока с постоянными магнитами (магнитоэлектрические генераторы) представляют собой синхронные бесконтактные электрические машины с возбуждением от постоянных магнитов.

Магнитоэлектрические генераторы надежны в работе, обладают высоким КПД (отсутствуют потери на возбуждение), малой инерционностью, имеют малые помехи радиоприему.

К недостаткам магнитоэлектрических генераторов можно отнести следующее:

высокую стоимость, массу и габаритные размеры;

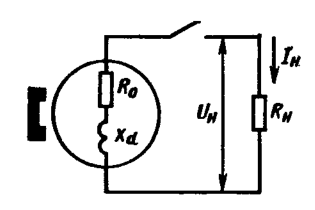


Рис. 69. Схема магнитоэлектрического генератора

большой разброс характеристик генератора;

нестабильность выходных параметров во времени, обусловленных старением и размагничиванием магнитов;

трудность регулирования напряжения при изменении частоты вращения ротора и нагрузки.

Магнитоэлектрические генераторы находят применение на транспортных машинах, в которых отсутствуют аккумуляторные батареи и основная нагрузка нечувствительна к изменению частоты тока.

На рис. 69 показан магнитоэлектрический генератор, работающий на осветительную нагрузку. Через $R_н$ обозначено сопротивление лампы, активное и индуктивное сопротивление обмотки генератора соответственно через R_0 и x_d. Синхронное индуктивное сопротивление генератора x_d, учитывающее индуктивность рассеяния обмотки и реакцию якоря, уменьшающее суммарный магнитный поток во время работы генератора под нагрузкой.

При холостом ходе ($I_и = 0$) напряжение генератора возрастает пропорционально частоте вращения

$$E_0 = C_е n,$$

где

$$C_е = 4k_ф k_υ \frac{p}{60} \Phi.$$

При замыкании внешней цепи индуктированная в обмотке ЭДС вызывает ток, равный

$$I_н = E_0/\sqrt{(R_0 + R_н)^2 + x_d^2}. \tag{29}$$

Синхронное индуктивное сопротивление генератора зависит от частоты вращения ротора

$$x_d = 2\pi f L = 2\pi \frac{pn}{60} L = C_х n,$$

где L — индуктивность обмотки статора;
$C_х = (2\pi pL)/60$ — постоянный коэффициент.

Подставляя в уравнение (29) значение E_0 и x_d, получаем

$$I_н = (C_е n)/\sqrt{(R_0 + R_и)^2 + C_х^2 n^2}. \tag{30}$$

Проанализируем полученное уравнение.

При малой частоте вращения n величина $C_x^2 n^2$ мала по сравнению с $(R_0 + R_н)^2$, и ею можно пренебречь. Тогда уравнение (30) примет вид

$$I_н \approx (C_е n)/(R_0 + R_н).$$

Следовательно, сила тока возрастает пропорционально частоте вращения ротора (рис. 70, прямая *1*).

При больших n величина $C_x^2 n^2$ значительно больше $(R_0+R_н)^2$, поэтому этой величиной можно пренебречь. Тогда уравнение (30) примет вид

$$I_н \approx (C_e n)/(C_x n) = C_e/C_x = \text{const}.$$

Итак, при возрастании n ток, отдаваемый генератором, стремится к некоторой постоянной величине (рис. 70 прямая *2*).

Следовательно, с повышением частоты вращения ток нагрузки $I_н$ вначале пропорционально возрастает, затем рост замедляется, и при большой частоте n ток нагрузки асимптотически стремится к установившейся величине (рис. 70, кривая *3*).

Напряжение на зажимах генератора (напряжение нагрузки) равно падению напряжения во внешней цепи, т. е.

$$U_и = I_и R_н = (C_e n R_н)/\sqrt{(R_0 + R_и)^2 + C_x^2 n^2}.$$

Следовательно, если $R_н$ = const, то напряжение изменяется пропорционально изменению тока. В действительности сопротивление ламп накаливания при возрастании проходящего через них тока увеличивается вследствие повышения температуры нити лампы. Поэтому напряжение на лампе растет несколько быстрее, чем ток (рис. 70, кривая *4*).

Если частота вращения ротора такого генератора изменяется в ограниченном диапазоне, то при постоянной нагрузке напряжение изменяется в допустимых пределах.

Регулирование иапряжения путем изменения какого-либо параметра называется параметрическим. В данном случае регулирование напряжения осуществляется за счет изменения параметра $x_d = C_x n$.

Автомобили и тракторы имеют различные осветительные приборы, которые работают независимо один от другого. Для ограничения влияние изменения сопротивления нагрузки на напряжение генератора его электрические и магнитиые цепи выполняют независимыми. Разделеиие магнитных и электрических цепей генератора (рис. 71, *а*) полностью исключает их взаимное влияние одна на другую. Такой генератор по существу соответствует трем генераторам с общим ротором. Разделение магнитных цепей снижает степень использования материалов генератора. Поэтому на практике разделяют только

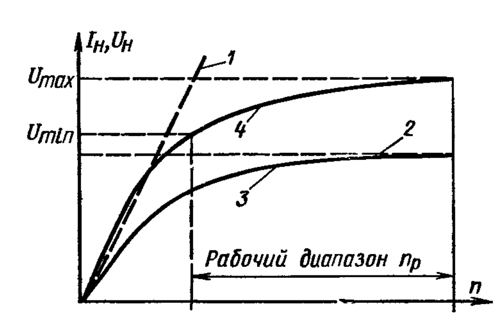


Рис. 70. Характеристики генератора переменного тока с возбуждением от постоянных магнитов

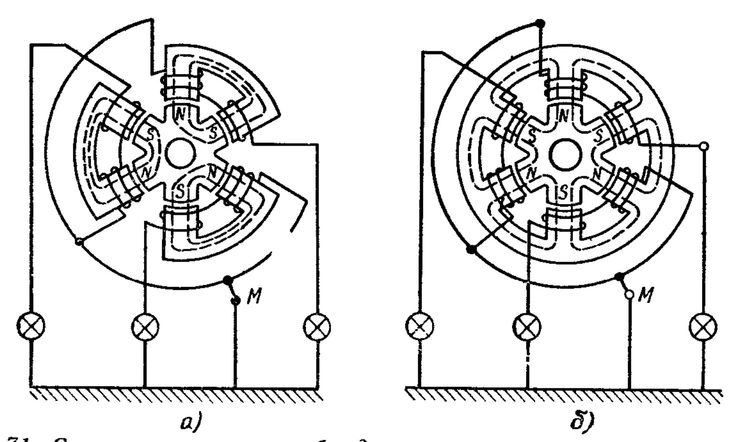


Рис. 71. Схемы генераторов с возбуждением от постоянных магнитов:

а — с разделенными электрическими и магнитными цепями; *б* — с общей магнитной цепью и разделенными электрическими цепями

электрические цепи (рис. 71, *б*). При этом магнитная связь сохраняется. Однако она не оказывает существенного влияния на изменение напряжения при выключении других цепей нагрузки. Обычно обмотки статора располагают таким образом, чтобы индуктированные в катушках ЭДС совпадали по фазе. Число независимых цепей обычно $\geqslant 6$.

Следует отметить, что метод стабилизации напряжения за счет изменения параметров несложен, но дает небольшую степень стабилизации. Поэтому его применение целесообразно лишь для генераторов малой мощности при небольших изменениях нагрузки.

Конструкция магнитоэлектрического генератора определяется магнитными и технологическими свойствами постоянного магнита, назначением и мощностью генератора (рис. 72).

Магнит с относительно высоким значением коэрцитивной силы H_c и относительно малой остаточной индукцией B_r, например из феррита бария (кривая *1*), необходимо выполнять с большим поперечным сечением и малой длины. Наоборот, магниты с относительно высоким значением B_r и малой H_c, например из магнико

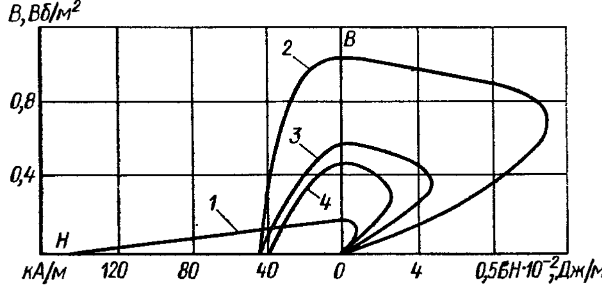
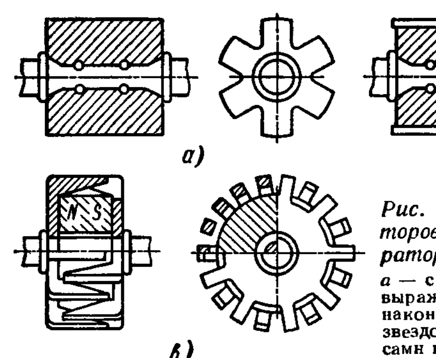


Рис. 72. Зависимости размагничивания и удельной магнитной энергии металлокерамических и прессованных магнитов:

1 — изотропный оксидно-бариевый магнит; *2* — магнико; *3* — алнико; *4* — ални



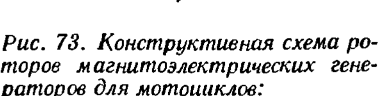


Рис. 73. Конструктивная схема роторов магнитоэлектрических генераторов для мотоциклов:

а — с магнитом в виде звездочки с явно выраженными полюсами без полюсных наконечников; *б* — с магнитом в виде звездочки с явно выраженными полюсами и полюсными наконечниками; *в* — с цилиндрическим магнитом, намагниченным по оси и полюсными наконечниками когтеобразного типа

(кривая *2*), алнико (кривая *3*) или ални (кривая *4*), необходимо выполнять с небольшим поперечным сечением и большой длины, чтобы предотвратить размагничивание постоянного магнита. Итак, характеристики материала определяют форму постоянного магнита, а форма магнита определяет выбор конструкции генератора.

Магнитные сплавы обладают высокой твердостью и хрупкостью. Поэтому самым распространенным видом механической обработки большинства магнитов является шлифование. Шлифование — процесс длительный и дорогостоящий. Поэтому для магнитов следует выбирать форму, которую можно получить фасонной отливкой или прессованием из порошков. Следовательно, возможностями технологии определяется конфигурация постоянного магнита.

Чем мощнее генератор, тем большая мощность возбуждения и большие объемы постоянных магнитов требуются. Удовлетворительные магнитные и механические характеристики можно получить только при определенных размерах магнита и определенных соотношениях между объемом магнита и площадью наружной поверхности. Поэтому при переходе к крупногабаритным магнитам их выполняют составными.

Постоянные магниты из-за малой механической прочности не выдерживают высоких окружных скоростей (литые магниты типа ални, алнико, магнико надежно работают при окружной скорости до 50 м/с). Поэтому при большой окружной скорости следует применять или специальную конструкцию ротора, или переходить на специальные индукторные системы.

Большинство генераторов, применяемых в настоящее время на мотоциклах или ранее на тракторах, выполнены с параметрическим регулированием напряжения и имеют магнитную систему с вращающимся магнитом. Такие системы отличаются одна от другой конструкцией ротора, и их можно разделить на следующие группы (рис. 73):

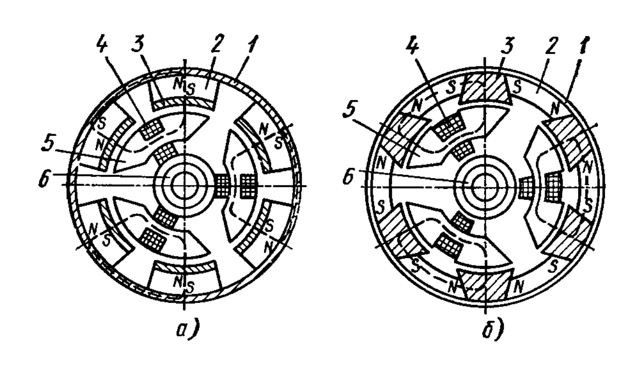


Рис. 74. Конструктивная схема мотогенераторов со вставными магнитами:

а — магдины с оксидно-барневым магнитом; *б* — магдины с магнитом из сплава алин или магнико; *1* — обод ротора; *2* — магнит; *3* — полюсный наконечник; *4* и *5* — обмотка и магнитопровод статора; *6* — втулка для установки маховика на валу двигателя

роторы с магнитом в виде звездочки с явно выраженными полюсами без полюсных наконечников (рис. 73, *а*);

роторы с магнитом в виде звездочки с явно выраженными полюсами с полюсными наконечниками (рис. 73, *б*);

роторы с цилиндрическим магнитом, намагниченным по оси с полюсными наконечниками когтеобразного типа (рис. 73, *в*).

На мотоциклах применяются также генераторы маховичного типа с кольцевыми и вставными магнитами (рис. 74).

Магнитоэлектрические генераторы по сравнению с генераторами с электромагнитным возбуждением имеют ряд особенностей. Наличие постоянного магнита, который является и источником МДС возбуждения, и участком магнитопровода, создает дополнительное магнитное сопротивление. Создаваемая постоянным магнитом во внешнем пространстве (в зазоре машины) МДС и магнитный поток не остаются постоянными, а меняются с изменением проводимости внешней магнитной цепи и магнитного поля реакции якоря. Основной выходной характеристикой таких генераторов является нагрузочно-частотная характеристика генератора $U_н = f(n)$ при $R_н = \text{const}$ (см. рис. 70, кривая *4*). По этой характеристике можно судить о степени стабилизации напряжения при изменении частоты вращения ротора в заданном диапазоне.

Одним из перспективных направлений в решении проблемы повышения надежности систем электроснабжения автомобилей и тракторов является разработка индукторных генераторов комбинированного возбуждения. Рабочий поток в этих бесконтактных машинах создается в результате действия двух источников МДС — постоянных магнитов и обмотки возбуждения. В таких генераторах начальное возбуждение осуществляется от постоянных магнитов, а поддержание постоянства напряжения — за счет изменения тока возбуждения.

В связи с появлением новых магнитных сплавов с повышенной магнитной энергией магнитоэлектрические генераторы могут найти более широкое применение.

§ 14. Основы расчета автотракторных генераторов

Проектирование автотракторных генераторов осуществляется с учетом отраслевых стандартов по расчету баланса электроэнергии автомобилей, автобусов и тракторов.

Особенности расчета автотракторных генераторов определены условиями работы, а именно широким диапазоном изменения частоты вращения и нагрузки. Напряжение генератора поддерживается постоянным посредством регулятора напряжения.

Выбор (определение) мощности генератора осуществляется следующим образом.

Вначале определяют расчетную нагрузку от потребителей

$$I_{п} = \sum I_{экв} = \sum I_{п.\,и} k_t k_{н},$$

где $I_{экв}$ — эквивалентный ток потребителя;
$I_{п.\,и}$ — номинальный ток потребителя;
k_t — коэффициент времени работы потребителя относительно времени работы двигателя;
$k_{н}$ — коэффициент нагрузки.

Затем определяют требуемый номинальный ток генератора

$$I_{г.\,и} = \frac{I_{п}}{1 - ПР},$$

где $ПР = 0{,}1 \div 0{,}2$ — относительное время разряда аккумуляторной батереи.

Требуемая номинальная мощность генератора постоянного тока равна

$$P_{г.\,н} = U_{г.\,в} I_{г.\,н}$$

Учитывая специфику работы генератора на автомобиле, генераторы постоянного тока можно характеризовать следующими режимами:

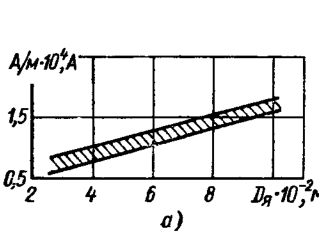
холостого хода, при котором магнитная индукция в воздушном зазоре и на участках магнитопровода имеет максимальное значение;

расчетным, при котором генератор имеет максимальную тепловую нагрузку;

максимальной частоты и нагрузки, при котором условия коммутации являются наихудшими.

Как уже отмечалось, автотракторные генераторы постоянного тока, как правило, работают с ограничителями тока. Для вентилируемого генератора наиболее тяжелым тепловым режимом является режим начала работы ограничителя тока, когда генератор при определенной частоте вращения начинает развивать номинальную мощность. При этой частоте вращения отношение мощности генератора к частоте вращения имеет максимальное значение. Этот режим является и номинальным, и расчетным.

Генератор постоянного тока обеспечивает зарядный баланс, если известны $P_{г.\,н}$, $n_{х}$, $n_{н}$. Поэтому при определении основных



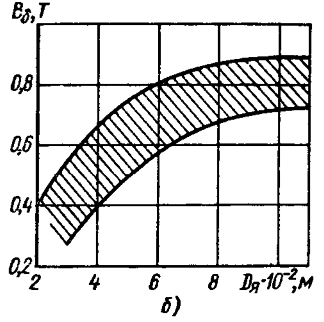


Рис. 75. Зависимости электромагнитных нагрузок от диаметра якоря для автотракторных генераторов:

а — линейная нагрузка; *б* — магнитная индукция

размеров генератора и обмоточных данных якоря целесообразно воспользоваться следующими соотношениями:

$(D_я^2 l_я n_н)/P_{эм} = 6{,}1/(\alpha_\delta A B_\delta) = C_A$

— для режима номинальной нагрузки;

$U_х = C_e n_х \Phi = (\pi \alpha_\delta N B_\delta D_я l_я n_х)/120a$

— для режима холостого хода.

Практикой проектирования рассматриваемых генераторов установлены рациональные значения B_δ, A в зависимости от диаметра якоря (рис. 75). Коэффициент полюсного перекрытия α_δ при отсутствии дополнительных полюсов равен 0,65—0,75 (большее значение относится к двухполюсным генераторам).

Электромагнитную мощность $P_{эм}$ можно определить через КПД и номинальную мощность генератора $P_{г.н}$:

$P_{эм} = [0{,}5 P_{гн}(1 + \eta)]/\eta.$

Приведенное соотношение основано на том, что в маломощных генераторах постоянного тока продолжительного режима электрические потери составляют примерно половину общих потерь. Для генераторов мощностью 500—1000 Вт можно принять $\eta = 0{,}7 \div 0{,}8$.

К особенностям расчета генераторов постоянного тока (по сравнению с расчетом стартеров) необходимо отнести следующее:

расчет основных размеров и магнитной цепи генератора производят по электромагнитной мощности при $n = n_н$;

потери и нагрев генератора рассчитывают по эксплуатационной частоте вращения якоря и номинальной нагрузке;

коммутацию проверяют при максимальной частоте вращения якоря.

Особенности расчета вентильных генераторов связаны с выпрямлением мощности, наличием клювообразных полюсов, малым числом пазов на полюс и фазу. Следует также учитывать, что ра-

бота протекает при изменении частоты вращения и нагрузки в широких пределах. При этом напряжение генератора поддерживается постоянным посредством регулятора напряжения. При проектировании вентильного генератора для обеспечения положительного зарядного баланса задаются токоскоростной характеристикой.

Как уже отмечалось, вентильные генераторы с клювообразным ротором работают с самоограничением, и их токоскоростная характеристика может быть описана уравнением (28). Так как эти генераторы самовентилируемые, то максимальная тепловая нагрузка имеет место при максимальном отношении развиваемой мощности к частоте вращения. Поэтому работу вентильного генератора можно характеризовать следующими режимами:

холостого хода, при котором магнитная индукция в воздушном зазоре и на участках индуктора максимальна;

расчетным, при котором генератор имеет предельную тепловую нагрузку;

максимального тока.

Проведенные расчеты показали, что практически генератор обеспечивает заданную токоскоростную характеристику, если получены заданные $n_х$, $n_р$ при $I_{d\,р}$ $(I_{фр})$, $I_{d\max}$ $(I_{ф\max})$ (см. рис. 59).

Поэтому выбор основных размеров генератора и обмоточных данных якоря вытекает из математической модели установившихся режимов генератора: холостого хода, короткого замыкания и расчетного.

Для режима холостого хода

$$U_{фх} = \frac{\pi}{30} k_ф k_0 n_х w_ф \alpha_\delta l_i D_я B_{\delta х},$$

где $D_я$ — диаметр расточки якоря;

l_i — расчетная длина якоря;

$B_{\delta х}$ — магнитная индукция в зазоре при холостом ходе;

$w_ф$ — число витков в фазе обмотки якоря.

Для режима короткого замыкания полагаем, что ток короткого замыкания равен максимальному току

$$I_{ф\max} = (U_{ф.х} n_{\max} k_\mu)/(x_d n_х),$$

где x_d — синхронное индуктивное сопротивление;

k_μ — коэффициент магнитного насыщения.

Синхронное индуктивное сопротивление

$$x_d = \frac{\mu_0 l_i w_ф^2 n_{\max}}{30}\left(\frac{2\pi \sum \lambda}{q} + \frac{m D_я k_0^2 k_d}{p k_\delta k_\mu \delta}\right),$$

где $\sum \lambda$ — суммарная проводимость поля рассеяния статора;

k_δ — коэффициент воздушного зазора;

k_d — коэффициент формы поля продольной реакции якоря;

k_μ — коэффициент насыщения магнитной цепи.

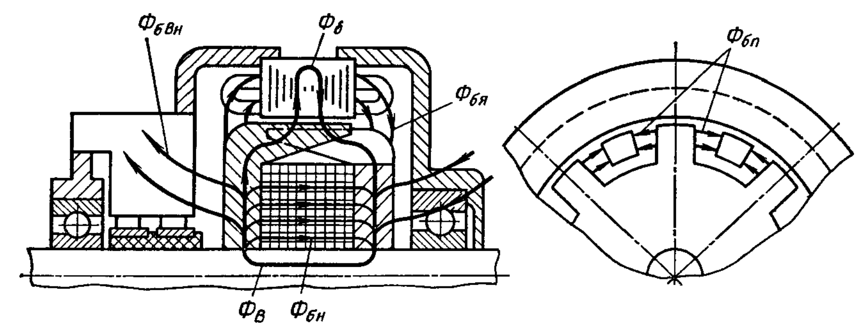


Рис. 76. Магнитная цепь автотракторного генератора с клювообразным ротором

Для режима работы генератора с максимальным отношением мощности к частоте вращения основное расчетное уравнение может быть представлено следующим образом:

$$D_я^2 l_i = (6{,}1 k_E I_{фр} U_{фх})/(\alpha_\delta k_в k_0 A_р B_{\delta р} n_р),$$

где $A_р$ и $B_{\delta р}$ — электрическая и магнитная нагрузки в расчетном режиме;

$I_{фр}$ и $n_р$ — ток фазы и частота в расчетном режиме;

k_E — коэффициент, определяемый отношением результирующей ЭДС при расчетной нагрузке к фазному напряжению.

Совместное решение приведенных уравнений позволяет в первом приближении определить основные размеры генератора $D_я$, l_i и число витков фазы $w_ф$. В общем случае определение размеров генератора возможно только методами итерации.

Рассмотрим вопросы, связанные с проверочным расчетом вентильного генератора при известной геометрии магнитной системы и обмоточных данных, а именно:

расчет магнитной цепи и характеристики холостого хода;

расчет токоскоростной характеристики.

При расчете магнитной цепи генератора с клювообразным ротором необходимо учитывать потоки рассеяния, которые соизмеримы с рабочим магнитным потоком $Ф_\delta$ (рис. 76).

Схема замещения магнитной цепи генератора с клювообразным ротором приведена на рис. 77. На схеме обозначены магнитные сопротивления следующих участков магнитопровода:

R_z — зубцового слоя;

R_j — спинки статора;

R_δ — воздушного зазора;

$R_{кл}$ — клюва;

$R_{изг. кл}$ — на участке изгиба клюва;

$R_{сб. к}$ — сборного кольца;

$R_{изг. вт}$ — на участке изгиба втулки;

$R_{вт}$ — втулки;

$R_{ст}$ — стыка.

Основными являются следующие магнитные потоки:

Φ_δ — в воздушном зазоре;

$\Phi_{\sigma п}$ — межполюсного рассеяния;

$\Phi_{\sigma я}$ — магнитного потока рассеяния, проходящий поперек пластин якоря;

$\Phi_{\sigma вн}$ — внешнего рассеяния ротора, проходящий вокруг машины;

$\Phi_{\sigma к}$ — рассеяния, проходящий по катушке возбуждения;

$\Phi_в$ — возбуждения.

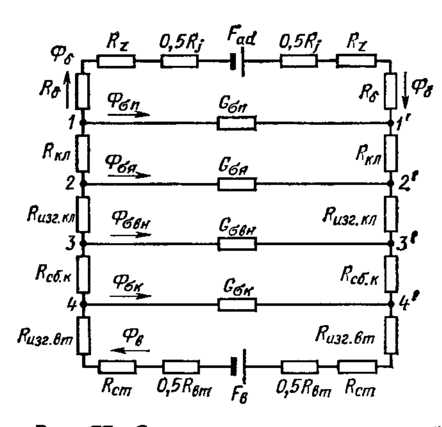


Рис. 77. Схема замещения магнитной цепи автотракторного генератора с клювообразным ротором

Каждому магнитному потоку рассеяния соответствуют проводимость G. Потоки рассеяния на соответствующих участках можно определить по магнитным проводимостям G и магнитному напряжению этих участков. Расчет проводимости представляет собой сложную задачу. Поэтому по аналогии с расчетом электрических машин постоянного тока для определения магнитного потока на определенном участке вводят коэффициенты рассеяния. Коэффициент рассеяния показывает, во сколько раз увеличивается магнитный поток в рассматриваемом сечении по отношению к потоку в воздушном зазоре, т. е. $\sigma_x = \Phi_x/\Phi_\delta$, где Φ_x — магнитный поток в рассматриваемом сечении x.

Практикой проектирования установлены зависимости коэффициентов рассеяния для различных участков магнитопровода от размеров машины $\sigma_x = f(D_я^2 l_i)$ (рис. 78). Здесь $\sigma_1 = \Phi_1/\Phi_\delta$ — коэффициент рассеяния в сечении $I - I$, $\sigma_2 = \Phi_2/\Phi_\delta$ — в сечении $II—II$, $\sigma_3 = \Phi_3/\Phi_\delta$ — в сечении $III—III$, $\sigma_4 = \Phi_4/\Phi_\delta$ — в сечении $IV—IV$.

Из приведенных кривых следует, что при малых значениях $D_я^2 l_i$ (малых мощностях) потоки рассеяния соизмеримы с величиной рабочего потока Φ_δ.

Продольный разрез генератора приведен на рис. 79. Расчет магнитной цепи производят на пару полюсов при $n = n_{исх} = 1000$ об/мин. При этом обычно задаются несколькими значениями фазной ЭДС $E_Ф$ в пределах от 0,5 до $1{,}25 E_{ф.н}$, величина которой определяется через номинальное выпрямленное напряжение $U_{dн}$ (26).

Магнитный поток в воздушном зазоре при синусоидальной форме поля ($k = 1{,}11$) определяют по формуле

$$\Phi_\delta = E_Ф/[4{,}44 k_0 w_ф (pn/60)],$$

где $k_0 = k_p k_y$ — обмоточный коэффициент для первой гармоники;
k_p — коэффициент распределения для первой гармоники;
k_y — коэффициент укорочения шага обмотки для первой гармоники;
$\beta = y\tau$ — относительный шаг обмотки.

Для трехфазных генераторов обмоточные коэффициенты при $q = 0{,}5$, $q = 1$, $q = 2$ соответственно равны 0,866; 1; 0,966.

Магнитная индукция в воздушном зазоре

$$B_\delta = \Phi_\delta / S_\delta = 2\Phi_\delta / (b_{p\,max} + b_{p\,min})\, l_i,$$

где S_δ — площадь воздушного зазора, м²;
$b_{p\,max}$, $b_{p\,min}$ — соответственно максимальная и минимальная ширина полюса (клюва), м;
l_i — длина активной части полюса, находящейся под пакетом статора, м.

МДС воздушного зазора

$$F_\delta = 1{,}6 k_\delta \delta B_\delta.$$

Магнитная индукция зубца статора

$$B_z = \frac{B_\delta t_1}{b_z k_c},$$

где b_z — ширина зубца;
$k_c = 0{,}9 \div 0{,}95$ — коэффициент заполнения пакета статора сталью.

МДС зубцов статора

$$2F_z = 2h_z H_z,$$

где h_z — высота зубца статора;
H_z — напряженность магнитного поля в зубцах, определяемая по кривой намагничивания материала статора и зависящая от магнитной индукции в зубце статора.

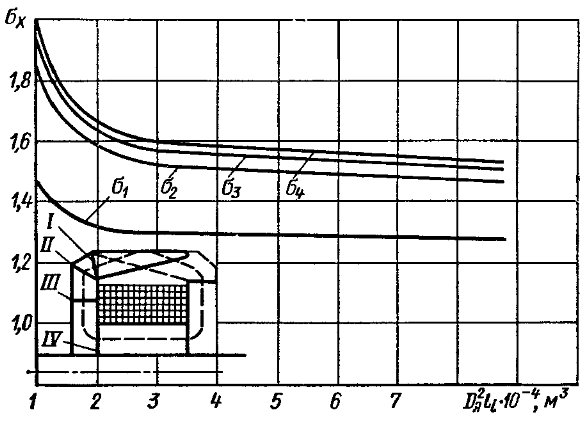


Рис. 78. Зависимости коэффициентов рассеяния от размеров якоря генератора в сечениях

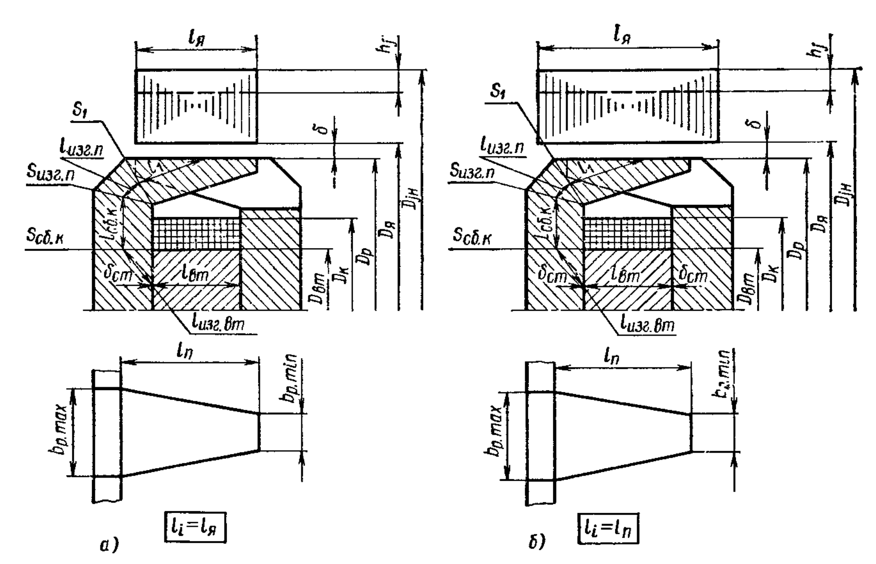


Рис. 79. Продольный разрез генератора с клювообразным ротором:
а — при $l_i = l_я$; б — при $l_i = l_п$

Магнитная индукция в ярме статора

$$B_j = 0{,}5\Phi_\delta\,[0{,}5\,(D_{jн} - D_я) - h_z]\,l_j k_с,$$

где $D_{jн}$ и l_j — наружный диаметр и длина ярма статора.

МДС ярма статора

$$F_j = \{[0{,}5\pi\,(D_{jн} - h_j)]\;H_j\}/p,$$

где h_j — толщина ярма;

H_j — напряженность магнитного поля в ярме.

Магнитный поток полюсного наконечника

$$\Phi_1 = \Phi_\delta + \Phi_{\sigma п} = \sigma_1 \Phi_\delta.$$

Коэффициент рассеяния σ_1 определяют из графика, приведенного на рис. 78.

Магнитная индукция в расчетном сечении S_1 полюсного наконечника (клюва)

$$B_1 = \Phi_1 / S_1.$$

МДС полюсного наконечника

$$2F_п = 2 l_1 H_1,$$

где l_1 — средняя длина силовой линии поля, проходящего по полюсу.

Магнитный поток на участке изгиба полюсного наконечника

$$\Phi_2 = \Phi_\delta + \Phi_{\sigma п} + \Phi_{\sigma я} = \sigma_2 \Phi_\delta.$$

Коэффициент рассеяния σ_2 также определяется по кривой, приведенной на рис. 78.

Магнитная индукция на участке изгиба полюсного наконечника

$$B_{изг.\,п} = \Phi_2/S_{изг.\,п} = \sigma_2\Phi_\delta/S_{изг.\,п},$$

где $S_{изг.\,п}$ — площадь сечения на участке изгиба полюсного наконечника, перпендикулярная к основной магнитной силовой линии.

МДС на участке изгиба полюсного наконечника

$$2F_{изг.\,п} = 2l_{изг.\,п}H_{изг.\,п}.$$

Магнитный поток сборного кольца

$$\Phi_3 = \Phi_\delta + \Phi_{\sigma п} + \Phi_{\sigma я} + \Phi_{\sigma\,вн} = \sigma_3\Phi_\delta.$$

Магнитная индукция сборного кольца

$$B_{сб.\,к} = \Phi_3/S_{сб.\,к} = \frac{\sigma_3\Phi_\delta p}{\pi D_{вт.\,н}h_{сб.\,к}},$$

где $S_{сб.\,к}$ — площадь сборного кольца;
$D_{вт.\,н}$ — наружный диаметр втулки;
$h_{сб.\,к}$ — толщина сборного кольца.

МДС сборного кольца

$$2F_{сб.\,к} = 2l_{сб.\,к}H_{сб.\,к}.$$

Магнитный поток втулки

$$\Phi_4 = \Phi_\delta + \Phi_{\sigma п} + \Phi_{\sigma я} + \Phi_{\sigma\,вн} + \Phi_{\sigma к} = \sigma_4\Phi_\delta.$$

Магнитная индукция на участке изгиба втулки

$$B_{изг.\,вт} = \Phi_4/S_{изг.\,вт} = \sigma_4\Phi_\delta/S_{изг.\,вт},$$

где $S_{изг.\,вт}$ — площадь сечения на участке изгиба втулки, перпендикулярного к основной магнитной силовой линии.

МДС на участке изгиба втулки

$$2F_{изг.\,вт} = 2l_{изг.\,вт}H_{изг.\,вт}.$$

Здесь $l_{изг.\,вт}$ — средняя длина силовой линии изгиба втулки.
Магнитная индукция стыка втулки с полюсной системой

$$B_{ст} = \Phi_4/S_{вт} = (\sigma_4\Phi_\delta 4p)/(\pi D_{вт}^2),$$

где $S_{вт}$ — сечение втулки, приходящееся на полюс.

МДС стыка втулки с полюсной системой (сборным кольцом)

$$2F_{ст} = 1{,}6\delta_{ст}B_{ст},$$

где $\delta_{ст} = 0{,}025 \div 0{,}05 \cdot 10^{-3}$ м.

Магнитная индукция втулки

$$B_{вт} = \Phi_4/S_{вт} = (\sigma_4\Phi_\delta 4p)/(\pi D_{вт}^2).$$

МДС втулки

$$F_{вт} = l_{вт} H_{вт}.$$

Определив МДС на отдельных участках магнитопровода, можно подсчитать суммарную МДС (МДС обмотки возбуждения), необходимую для наведения $E_ф$:

$$F_\Sigma = F_в = 2F_\delta + 2F_z + F_j + 2F_п + 2F_{нзг.\,п} +$$
$$+ 2F_{сб.\,к} + 2F_{нзг.\,вт} + 2F_{ст} + F_{вт}.$$

Проведенные расчеты позволяют построить характеристику холостого хода синхронного генератора $E_ф = f(F_\Sigma)$ при $n = \text{const}$ и $I_ф = 0$ (рис. 80). Учитывая соотношение (26), можно построить и характеристику холостого хода вентильного генератора $E_d = f(F_\Sigma)$ при $n = \text{const}$ и $I_d = 0$.

В основу расчета токоскоростной характеристики вентильного генератора положены основное уравнение синхронной машины, векторная диаграмма и характеристика холостого хода.

Известно, что при симметричной нагрузке для каждой фазы обмотки якоря синхронного генератора

$$\dot U_ф = \dot U_1 = \dot E_0 + \dot E_{ad} + \dot E_{aq} + \dot E_s - \dot I_1 R_1 =$$
$$= \dot E_0 - j\dot I_{1d} x_{ad} - j\dot I_{1q} x_{aq} - j\dot I_1 x_{\sigma 1} - \dot I_1 R_1, \qquad (31)$$

где U_1 — действующее значение напряжения фазы якоря;
E_{ad} и E_{aq} — ЭДС продольной и поперечной реакции якоря;
E_s — ЭДС рассеяния обмотки якоря;
I_1 — действующее значение тока фазы обмотки якоря;
x_{ad} и x_{aq} — индуктивные сопротивления реакции якоря по продольной и поперечной осям;
$x_{\sigma 1}$ — индуктивное сопротивление рассеяния обмотки якоря;
R_1 — активное сопротивление обмотки якоря;
I_{1d} и I_{1q} — продольная и поперечная составляющие тока обмотки якоря.

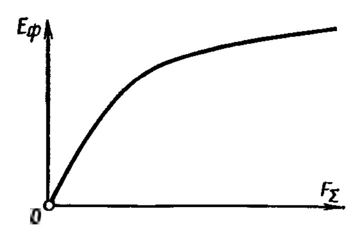


Рис. 80. Характеристики холостого хода синхронного генератора

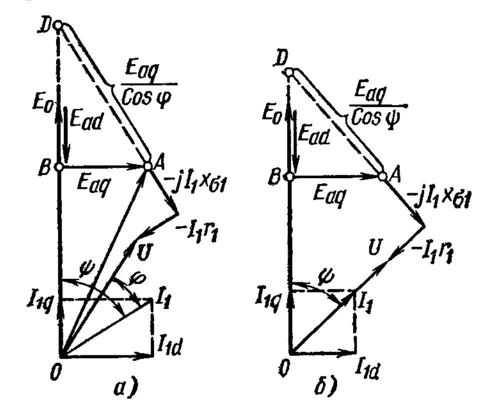


Рис. 81. Векторная диаграмма синхронного генератора:
а — $\cos\varphi \neq 1$; б — $\cos\varphi = 1$

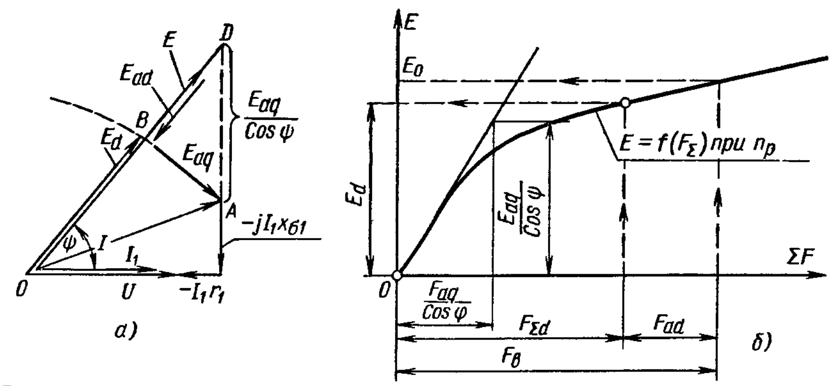


Рис. 82. К расчету токоскоростной характеристики:

а — векторная диаграмма Блонделя при $\cos\varphi = 1$; *б* — характеристика холостого хода генератора

Векторная диаграмма ЭДС синхронного генератора при симметричной нагрузке (диаграмма Блонделя), соответствующая уравнению (31), приведена на рис. 81, *а*. Если на этой диаграмме продолжить вектор $j\dot{I}_1 x_{\sigma 1}$ вверх до пересечения с продолжением вектора E_0, то получим треугольник, гипотенуза которого равна $E_{aq}/\cos\psi$, где ψ — фазовый сдвиг между силой тока якоря I_1 и вызвавшей его ЭДС E_0.

В вентильных автотракторных генераторах нагрузка близка к активной, поэтому можно принять $\cos\varphi = 1$ (рис. 81, *б*). Тогда для определения ЭДС холостого хода E_0 или ЭДС по продольной оси при нагрузке E_d достаточно знать U_1, I_1, параметры обмотки якоря R_1, $x_{\sigma 1}$ и характеристику холостого хода (см. рис. 80).

Для определения E_d (рис. 82, *а*) проводят вектор тока I_1 и совпадающие по направлению вектор *а* напряжения U_1 и падения напряжения на активном сопротивлении фазы $I_1 R_1$. Под углом 90° откладывают вектор индуктивного падения напряжения $jI_1 x_{\sigma 1}$. В результате получают вектор, характеризующий ЭДС потока в воздушном зазоре E_δ. Затем по направлению вектора $iI_1 x_{\sigma 1}$ откладывают величину $E_{aq}/\cos\psi$, которую определяют по характеристике холостого хода (рис. 82, *б*). Для этого вычисляют

$$F_{aq}/\cos\psi = F_a k_q,$$

где $F_a = I_1 (0{,}9 m w_ф k_0)/p$ — МДС реакции якоря;
k_q — коэффициент приведения МДС реакции якоря по поперечной оси к МДС обмотки возбуждения (рис. 83).

Соединяя конец вектора $E_{aq}/\cos\psi$ с точкой O (см. рис. 81), находим направление векторов ЭДС E_d по продольной оси и холостого хода E_0, а следовательно, и угол ψ. Величина ЭДС E_d определяется по диаграмме отрезком OB (отрезок, отсекаемый

перпендикуляром, опущенным из точки A на направление вектора E_0).

С другой стороны, ЭДС по продольной оси E_d можно определить по характеристике холостого хода и результирующей МДС $F_{\Sigma d} = F_в - F_{ad}$ (см. рис. 82, *б*), если известна МДС обмотки возбуждения $F_в = I_{в\,max}\,w_в$ и МДС продольной реакции якоря

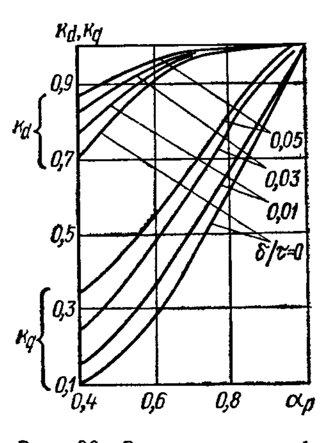


Рис. 83. Зависимости коэффициентов k_d и k_q от коэффициента полюсного перекрытия

$$F_{ad} = F_a K_d \sin\psi, \qquad (32)$$

где K_d — коэффициент приведения МДС реакции якоря по продольной оси к МДС обмотки возбуждения (рис. 83).

Итак, сущность расчета токоскоростной характеристики при $\cos\varphi = 1$ сводится к подбору таких связанных одно с другим значений $I_{dн}$ и n, при которых ЭДС E_d, определенные по диаграмме Блонделя и по характеристике холостого хода $E_ф = f(F_\Sigma)$, при $n = \text{const}$ были бы равны. Такое равенство возможно, если есть соответствующие точки на токоскоростной характеристике, диаграмме Блонделя и характеристике холостого хода.

При расчете характеристики необходимо перейти от выпрямленных значений I_d и U_d к фазным значениям тока и напряжения $I_ф$, $U_ф$ [см. формулы (26) и (27)]. Однако из-за трудности определения коэффициента k_γ и угла коммутации вентиля γ при расчете рекомендуется пользоваться экспериментально полученными зависимостями $U_ф$, $I_ф = f(I_d/I_{dн})$ при $U_d = U_{dн}$ (рис. 84).

Для расчета токоскоростной характеристики необходимо знать индуктивное сопротивление рассеяния и активное сопротивление обмотки якоря (статора).

Индуктивное сопротивление рассеяния катушки, лежащей в пазах статора, можно определить по формуле

$$x_\sigma = 4\pi\mu_0 f w_к l_я \sum\lambda,$$

где $w_к$ — число витков катушки;

$\sum\lambda = \lambda_п + \lambda_д + \lambda_л + \lambda_к$;

$\lambda_п$, $\lambda_д$, $\lambda_л$, $\lambda_к$ — удельные проводимости соответственно пазового, дифференциального, лобового рассеяния и рассеяния коронок зубца.

Удельная проводимость пазового рассеяния зависит только от геометрических размеров паза. Его значение определяется по потокосцеплению индукционных линий, проходящих поперек

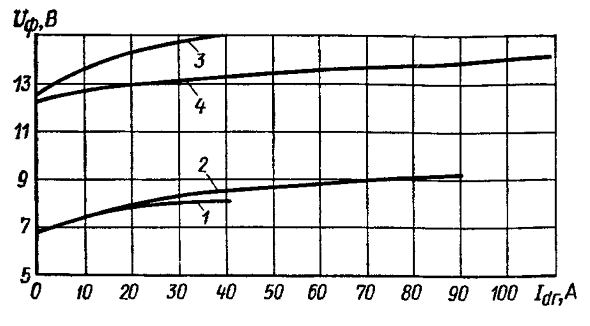


Рис. 84. Зависимости фазного напряжения от выпрямленного тока генератора:

1 — для генераторов мощностью до 700 Вт при $U_d = 14$ В; 2 — для генераторов мощностью до 1200 Вт при $U_d = 14$ В; 3 — для генераторов мощностью до 1500 Вт при $U_d = 28$ В; 4 — для генераторов мощностью до 3000 Вт при $U_d = 28$ В

паза, с проводниками, лежащими в пазу. Обычно при определении λ_n пренебрегают магнитным сопротивлением индукционных трубок пазового рассеяния вне паза и считают, что сопротивление для них определяется только расстоянием между стенками паза и усиками. Удельные проводимости пазового рассеяния определяют в зависимости от формы паза

$$\lambda_{\text{п}} = \left[\frac{2h_1}{3(b_{\text{п1}} + b_{\text{п2}})} + \frac{h_4}{b_{\text{п1}}}\right]\frac{3}{4}$$ — для паза рис. 85, *а*;

$$\lambda_{\text{п}} = \frac{2}{3}\frac{h_1}{(b_{\text{п1}} + b_{\text{п2}})} + \frac{h_2}{b_{\text{п1}}} + \frac{2h_3}{a_c + b_{\text{п1}}} + \frac{h_4}{a_c}$$ —

— для паза рис. 85, *б*;

$$\lambda_{\text{п}} = 0{,}62 + \frac{2h_1}{3(d_1 + d_2)} + \frac{h_4}{a_c}$$ — для паза рис. 85, *в*.

Дифференциальное рассеяние обусловлено высшими пространственными гармониками поля якоря, которые в обмотке якоря индуктируют ЭДС рассеяния с той же частотой, что и первая гармоническая составляющая поля. При малом числе пазов на полюс и фазу, особенно при $q \leqslant 1$, магнитное поле отличается от синусоидального, т. е. характеризуется большим числом высших гармонических составляющих. Поэтому в таких электрических машинах следует учитывать $\lambda_{\text{д}}$.

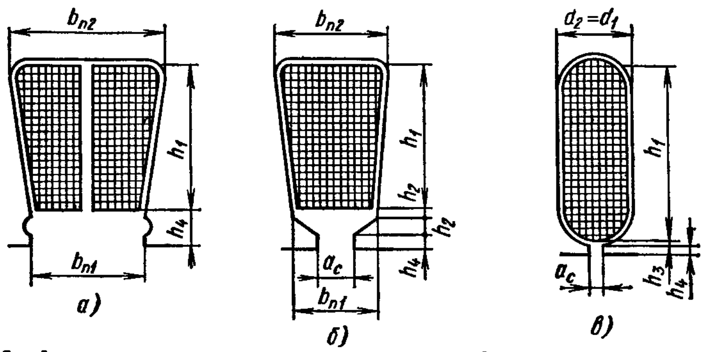


Рис. 85. Форма пазов якоря генератора с клювообразным ротором

Проводимость дифференциального рассеяния можно определить по формуле

$$\lambda_д = \frac{mqk_0^2\tau k_д k_{дм}}{\pi^2 k_\delta \delta k_\mu},$$

где $k_д$ — коэффициент дифференциального рассеяния (при $q = 0{,}5$; $q = 1$; $q = 2$ соответственно $k_д = 0{,}46$; $0{,}096$; $0{,}0284$);

$k_{дм}$ — коэффициент демпфирования, равный 0,6—0,8;

$k_\mu = F_н/F_\delta$ — коэффициент насыщения магнитной цепи (определяется по характеристике холостого хода), равный 1,5—2.

Удельную проводимость лобового рассеяния с учетом типа обмотки рассчитывают по формуле

$$\lambda_л = \frac{0{,}42q}{l_я}(l_л - 0{,}64\tau\beta),$$

где $\beta = 0{,}667$ (при $q = 0{,}5$) и $\beta = 1$ (при $q = 1$; 2) — величина относительного шага обмотки.

Рассеяние по коронкам зубцов определяется геометрией зубцовой зоны

$$\lambda_к = 1{,}25\frac{5\delta}{5a_с + 4\delta},$$

где $a_с$ — ширина прорези паза.

При последовательном соединении катушек индуктивное сопротивление фазы $x_{\sigma 1} = (z_1 x_0)/m$, а при параллельном соединении $x_{\sigma 1} = (mx_\sigma)/z_1$.

Активное сопротивление фазы обмотки якоря $R_1 = r_1 k$ (при последовательном соединении катушек) и $R_1 = r_1/k$ (при параллельном соединении катушек),

где r_1 — сопротивление одной катушки;

k — число катушек в фазе.

Активное сопротивление катушки

$$r_1 = \frac{\rho l_{ср} w_к [1 + 0{,}004(t - 20)]}{S_{ям}},$$

где $l_{ср} = 2(l + l_л)$ — средняя длина витка в катушке.

Применительно к вентильному генератору, схема которого показана на рис. 54, токоскоростная характеристика рассчитывается следующим образом.

1. Задаются несколькими значениями тока нагрузки от $I_d = 0{,}25 I_{d\,р}$ до $I_d = 1{,}25 I_{d\,р}$, где $I_{d\,р}$ — расчетное значение выпрямленного тока.

2. Для выбранных токов нагрузки определяют ток, отдаваемый генератором $I_{dг} = I_d + I_{в\,max}$.

3. Для каждого значения тока $I_{dг}$ определяют:

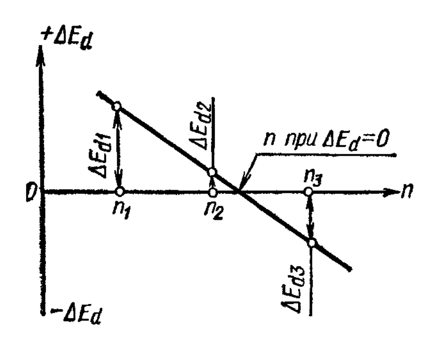


Рис. 86. К определению частоты вращения при заданном значении I_d и

фазный ток генератора I_1 (по формуле 25);

фазное напряжение генератора U_1 (см. рис. 84);

активное падение напряжения в обмотке якоря I_1R_1;

сумму напряжений $U_1+I_1R_1$ (см. рис. 82, *а*).

4. Для каждого значения I_d задаются несколькими значениями частоты вращения ротора n_1, n_2, n_3. Для выбранных частот определяют:

индуктивное сопротивление рассеяния $x_{\sigma 1}$;

индуктивное падение напряжения $I_1x_{\sigma 1}$;

отношение $E_{aq}/\cos\psi$;

сумму напряжений $I_1x_{\sigma 1}+E_{aq}/\cos\psi$;

угол сдвига фаз между током I_1 и ЭДС E_0 по формуле (см. рис. 82).

$$\psi = \operatorname{arctg}[I_1x_{\sigma 1}+E_{aq}/\cos\psi]/(U_1+I_1R_1);$$

sin ψ и cos ψ.

ЭДС по продольной оси от суммарного действия основного поля и поля продольной реакции якоря по диаграмме Блонделя

$$E'_d=(U_1+I_1R_1)\cos\psi+I_1x_{\sigma 1}\sin\psi;$$

МДС обмотки возбуждения $F_в = I_{в\,max}w_в$;

МДС продольной реакции якоря F_{ad} (32);

МДС от суммарного действия обмотки возбуждения и продольной реакции якоря $F_\Sigma = F_в - F_{ad}$;

ЭДС E_{d0} по продольной оси от суммарной МДС определяют по характеристике холостого хода, например, при $n = 1000$ об/мин;

ЭДС по продольной оси при рассматриваемом значении частоты вращения $E_{di} = (E_{d0}n_i)/1000$;

разницу ЭДС ΔE_d, определенной по диаграмме Блонделя Ed' и по характеристике холостого хода E_{di}, $\Delta E_d = E'_d - E_{di}$.

5. Для каждого значения I_d строят зависимость $\Delta E_d = f(n)$ (рис. 86).

Точка пересечения этой кривой с осью абсцисс (n) и определяет частоту вращения для рассматриваемого значения тока нагрузки генератора I_d. Значения n_1, n_2, n_3, n'_1, n'_2, n'_3 и т. д. должны выбираться таким образом, чтобы функция $\Delta E_d = f(n)$ пересекала ось абсцисс.

Глава IV. АВТОМАТИЧЕСКИЕ РЕГУЛЯТОРЫ НАПРЯЖЕНИЯ И ТОКА АВТОТРАКТОРНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ

§ 15. Регулирование напряжения и тока автотракторных генераторов

В системах электропитания автомобилей и тракторов источниками электрической энергии являются генераторы постоянного или переменного тока и аккумуляторные батареи. Параллельная работа генератора с аккумуляторными батареями протекает при изменении частоты вращения якоря (ротора) генератора, нагрузки и температуры в широких пределах. Для нормальной работы приемников электрической энергии необходимо, чтобы напряжение сети было постоянным. В связи с перечисленными особенностями и возникла проблема регулирования напряжения.

Изменение напряжения сети приводит к изменению светового потока ламп и сокращению их срока службы (при повышенном напряжении) к недозаряду или перезаряду аккумуляторных батарей, к ухудшению работы радиоприемников и т. д.

Генератор развивает ЭДС только при работающем первичном двигателе. Следовательно, при параллельной работе генератора с аккумуляторными батареями необходимо иметь автоматическое устройство, которое должно обеспечивать подключение генератора к сети (когда $U_г > U_а$) и отключение генератора от сети (когда $U_г < U_а$).

В процессе эксплуатации генератора возможны случаи, когда нагрузка превышает номинальную. Это приводит к перегреву, ухудшению коммутации и повышению механической нагрузки на детали привода генератора. Поэтому необходимо наличие устройства, обеспечивающего ограничение тока, отдаваемого генератором. Все перечисленные операции в системе электроснабжения автомобилей и тракторов осуществляются автоматически при помощи регуляторов напряжения и тока.

Напряжение генератора постоянного или переменного тока с полным выпрямлением мощности (вентильного генератора) можно выразить формулой

$$U_г = C'_е n\Phi - 2U_0 - r_{экв} I_г, \qquad (33)$$

где $C'_е$ — конструктивная постоянная генератора (для генераторов постоянного тока $C'_е = pN/60a$, а для вентильных генераторов $C'_е = 4k_{вып} k k_0 p w_\Phi/60$);

n — частота вращения якоря генератора;

$2U_0$ — падение напряжения на выпрямителе вентильного генератора (для генератора постоянного тока $2U_0 = 0$);

$r_{экв}$ — эквивалентное сопротивление генератора, учитывающее падение напряжения внутри генератора и выпрямителя; для вентильных генераторов эквивалентное сопротивление является переменной величиной и зависит от частоты вращения ротора;

$I_г$ — ток генератора (для вентильного генератора — среднее значение выпрямленного тока I_d);

$k_{вып}$ — коэффициент выпрямления, определяющий отношение между выпрямленным средним значением напряжения и действующим фазным напряжением.

Магнитный поток генератора с электромагнитным возбуждением можно выразить через ток возбуждения

$$\Phi = \Phi_0 + I_в/(a + bI_в),$$

где Φ_0 — остаточный магнитный поток;

a, b — коэффициенты аппроксимации кривой намагничивания.

Для определения коэффициентов a и b на характеристике холостого хода генератора выделяем две точки (рис. 87): одну на линейном участке, другую на участке насыщения. Пренебрегая влиянием остаточного магнитного потока Φ_0 и падением напряжения на выпрямителе $2U_0$ для выбранных точек, можно записать

$$\left.\begin{aligned} U_1 &= (C'_e n I\ _1)/(a + bI_{в1}); \\ U_2 &= (C'_e n I_{в2})/(a + bI_{в2}). \end{aligned}\right\}$$

Решая систему уравнений, определяем коэффициенты a и b:

$$a = [C'_e n I_{в1} I_{в2} (U_2 - U_1)]/[U_1 U_2 (I_{в2} - I_{в1})];$$

$$b = [C'_e n (U_1 I_{в2} - U_2 I_{в1})]/[U_1 U_2 (I_{в2} - I_{в1})].$$

С учетом принятых допущений и аппроксимации кривой намагничивания генератора уравнение (33) примет вид

$$U_г = C'_e n I_в/(a + bI_в) - r_{экв} I_г. \quad (34)$$

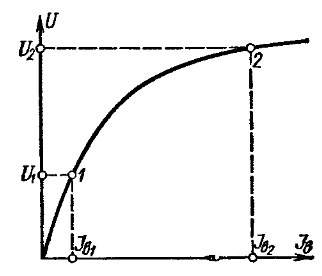


Рис. 87. К определению коэффициентов аппроксимации кривой намагничивания

Таким образом, чтобы напряжение генератора оставалось постоянным при изменении в широких пределах частоты вращения и нагрузки, необходимо изменять силу тока возбуждения. Закон изменения силы тока возбуждения можно определить из уравнения (34)

$$I_в = [(U_г + r_{экв} I_г)\, a]/[C'_e n - (U_г + r_{экв} I_г)\, b]. \quad (35)$$

Следовательно, с повышением частоты вращения генератора ток возбуждения должен уменьшаться, а при увеличении нагрузки — возрастать. Диапазон изменения частоты вращения генератора, в котором напряжение генератора должно поддерживаться постоянным, определяется отношением $n_{max}/n_x = k_n$, это отношение называется кратностью регулирования напряжения по частоте вращения якоря генератора.

Кратность регулирования по частоте вращения автомобильных генераторов составляет 6—8, а для тракторных генераторов 3—4.

Кратность регулирования по току возбуждения $K_i = \frac{I_{в\,max}}{I_{в\,min}}$ можно определить из уравнения (35), учитывая, что при n_x ток возбуждения имеет максимальное значение $I_{в\,max}$, а при n_{max} минимальное значение $I_{в\,min}$. Учитывая изложенное выше, получим

$$K_i = [C'_e n_{max} - (U_г + r_{экв} I_г)\, b]/[C'_e n_x - (U_г + r_{экв} I_г)\, b],$$

т. е. кратность регулирования по току возбуждения больше, чем кратность регулирования по частоте вращения. Это происходит потому, что кривая намагничивания имеет нелинейный характер. Наибольшая кратность имеет место в режиме холостого хода.

Обычно генераторы переменного тока имеют глубокое насыщение магнитной цепи. Кратность регулирования по току возбуждения у таких генераторов составляет 15—20.

Решив уравнение (34) относительно частоты вращения, получим

$$n = \frac{(U_г + r_{экв} I_г)}{C'_e I_в} (a + b I_в).$$

Из этого уравнения следует, что с увеличением нагрузки (учитывая, что $I_{в\,max}$, $U_г = \text{const}$) частота вращения, при которой генератор развивает номинальное напряжение, также увеличивается.

По уравнениям, отображающим законы изменения напряжения и тока возбуждения при изменении частоты вращения якоря и нагрузки, можно построить рабочие характеристики генератора (рис. 88).

В зависимости от способа изменения силы тока возбуждения регуляторы напряжения подразделяются на два класса.

1. Регуляторы непрерывного действия, в которых сигналы на входе и выходе всех элементов представляют собой непрерывные функции времени. В таких регуляторах сила тока возбуждения и сопротивления изменяются во времени и зависят от частоты вращения якоря и нагрузки генератора. Ток возбуждения в такой системе равен

$$I_в = U_г/(R_в + R_д),$$

где $R_д = f(n, I_г)$ — добавочное сопротивление в цепи возбуждения.

Закон изменения добавочного сопротивления можно выразить формулой

$$R_д = U_г\left[\frac{C'_e n}{(U_г + r_{экв} I_г)\,a} - \frac{b}{a}\right] - R_в.$$

Следовательно, для поддержания постоянства напряжения генератора добавочное сопротивление $R_д$ необходимо увеличивать при повышении частоты и уменьшать при возрастании нагрузки на генератор.

К регуляторам непрерывного действия относятся угольные регуляторы напряжения, в которых функции добавочного сопротивления выполняет угольный столб. Сопротивление угольного столба при изменении силы сжатия изменяется в широких пределах. Регуляторы этого класса не находят применения на автомобилях и тракторах.

2. Регуляторы дискретного действия осуществляют квантование сигнала по уровню или широтно-импульсную модуляцию. Основу таких регуляторов составляют различного рода реле. Процесс регулирования напряжения протекает следующим образом (рис. 89).

Когда напряжение генератора $U_г < U_{ср}$, то протекает процесс самовозбуждения. Как только напряжение генератора достигнет напряжения срабатывания $U_{ср}$, в цепи возбуждения параметры и структура регулирования изменяются скачкообразно. В результате ток возбуждения начинает уменьшаться. Одновременно падает и напряжение генератора. При напряжении генератора равным напряжению возврата $U_в$, реле сработает, и в цепи возбуждения скачкообразно восстанавливаются параметры или структура регулирования. Ток возбуждения увеличивается, возрастает и напряжение генератора, а при $U_{ср}$ вновь срабатывает реле. Далее процесс периодически повторяется. При этом средние значения напряжения генератора $U_{г.ср}$ и тока возбуждения $I_{в.ср}$ остаются неизменными при данной частоте вращения якоря и нагрузке генератора. С изменением частоты вращения

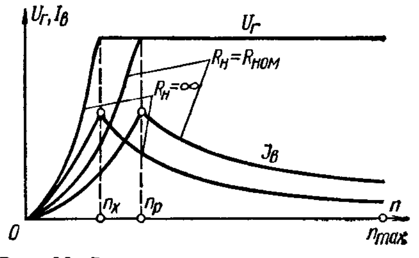


Рис. 88. Рабочие характеристики генераторов с электромагнитным возбуждением

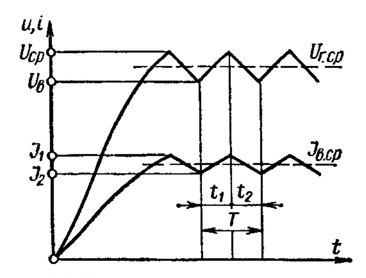


Рис. 89. Временные характеристики при дискретном регулировании напряжения генератора

или нагрузки среднее значение тока возбуждения изменяется, а среднее значение напряжения остается неизменным.

Для регулирования напряжения и тока автотракторных генераторов применяются, как правило, регуляторы дискретного действия.

§ 16. Теория дискретного регулирования

Из рассмотрения принципа действия регуляторов дискретного действия следует, что процесс регулирования напряжения генераторов постоянного или переменного тока может быть описан дифференциальными уравнениями

$$U_{и} = i_{в}R_{в} + L_{в}\frac{di_{в}}{dt} \text{ при } 0 \leqslant t \leqslant t_1; \tag{36}$$

$$U_{п} = i_{в}R'_{в} + L'_{в}\frac{di_{в}}{dt} \text{ при } 0 \leqslant t \leqslant t_2. \tag{37}$$

Здесь $U_{и}$ и $U_{п}$ — напряжения, приложенные к цепи возбуждения соответственно во время импульсов и пауз;

$R_{в}$ и $R'_{в}$ — сопротивления цепи возбуждения соответственно во время импульсов и пауз;

$L_{в}$ и $L'_{в}$ — индуктивности цепи возбуждения соответственно во время импульсов и пауз.

Положим, что $U_{и}$ и $U_{п}$ обобщенные параметры, учитывающие встречные ЭДС, падения напряжения на полупроводниковых элементах и т. д. Такими же обобщенными параметрами являются $R_{в}$, $R'_{в}$, $L_{в}$, $L'_{в}$.

Если $U_{и}$, $U_{п}$, $R_{в}$, $R'_{в}$, $L_{в}$, $L'_{в}$ являются постоянными величинами и ток в цепи возбуждения непрерывный, решение дифференциальных уравнений (36) и (37) можно представить следующим образом (см. рис. 89):

$$i_1(t) = \left(I_2 - \frac{U_{и}}{R_{в}}\right)e^{-\frac{t}{T_{в}}} + \frac{U_{и}}{R_{в}} \text{ при } 0 \leqslant t \leqslant t_1; \tag{38}$$

$$i_2(t) = \left(I_1 - k\frac{U_{и}}{R_{в}}\right)e^{-\frac{t}{cT_{в}}} + k\frac{U_{и}}{R_{в}} \text{ при } 0 \leqslant t \leqslant t_2, \tag{39}$$

где $k = (U_{п}R_{в})/(U_{и}R'_{в})$ — коэффициент, учитывающий изменение структуры регулирования;

$c = L'_{в}R_{в}/L_{в}R'_{в} = T'_{в}/T_{в}$ — коэффициент, учитывающий изменение параметров цепи возбуждения;

$T_{в} = L_{в}/R_{в}$; $T'_{в} = L'_{в}/R'_{в}$ — электромагнитные постоянные цепи возбуждения.

Начальные токи I_1 и I_2 можно определить из граничных условий (см. рис. 89)

$i_1(0) = i_2(t_2)$;

$i_1(t_1) = i_2(0)$.

Для граничных условий можно записать

$$\left.\begin{aligned} I_2 &= \left(I_1 - k\frac{U_{\text{и}}}{R_{\text{в}}}\right) e^{-\frac{t_2}{cT_{\text{в}}}} + k\frac{U_{\text{и}}}{R_{\text{в}}}; \\ \left(I_2 - \frac{U_{\text{и}}}{R_{\text{в}}}\right) e^{-\frac{t_1}{T_{\text{в}}}} &+ \frac{U_{\text{и}}}{R_{\text{в}}} = I_1. \end{aligned}\right\} \qquad (40)$$

Решая систему уравнений (40), находим

$$I_2 = \frac{U_{\text{и}}}{R_{\text{в}}}\left[\frac{\left(1 - k - e^{-\gamma\tau_{\text{в}}}\right) e^{-(1-\gamma)\frac{\tau_{\text{в}}}{c}} + k}{1 - e^{-\left(\gamma + \frac{1-\gamma}{c}\right)\tau_{\text{в}}}}\right];$$

$$I_1 = \frac{U_{\text{и}}}{R_{\text{в}}}\left[\frac{\left(1 - e^{-\gamma\tau_{\text{в}}}\right) + k\left(1 - e^{-(1-\gamma)\frac{\tau_{\text{в}}}{c}}\right) e^{-\gamma\tau_{\text{в}}}}{1 - e^{-\left(\gamma + \frac{1-\gamma}{c}\right)\tau_{\text{в}}}}\right],$$

где $\gamma = t_1/T$ — относительная длительность импульса;

$\tau_{\text{в}} = T/T_{\text{в}}$ — относительная длительность периода переключений реле;

$T = t_1 + t_2$ — период переключения реле.

Пульсация тока возбуждения

$$\Delta I_{\text{в}} = I_1 - I_2 = \frac{U_{\text{и}}}{R_{\text{в}}} \frac{(1-k)\left(1 - e^{-\gamma\tau_{\text{в}}}\right)\left(1 - e^{-(1-\gamma)\frac{\tau_{\text{в}}}{c}}\right)}{1 - e^{-\left(\gamma + \frac{1-\gamma}{c}\right)\tau_{\text{в}}}}. \qquad (41)$$

Подставив значения I_1 и I_2 в уравнения (38) и (39), находим законы изменения тока в интервалах времени t_1 и t_2.

Среднее значение тока возбуждения можно определить путем интегрирования

$$I_{\text{н. ср}} = \frac{1}{T}\left(\int_0^{t_1} i_1(t)\,dt + \int_0^{t_2} i_2(t)\,dt\right). \qquad (42)$$

Подставив значения токов $i_1(t)$ и $i_2(t)$ в уравнение (42), после интегрирования и преобразований получим

$$I_{\text{н. ср}} = \frac{U_{\text{и}}}{R_{\text{в}}}[\gamma(1-k) + k] \times$$

$$\times \left\{1 - \frac{(1-c)(1-k)\left(1 - e^{-\gamma\tau_{\text{в}}}\right)\left(1 - e^{-(1-\gamma)\frac{\tau_{\text{в}}}{c}}\right)}{\tau_{\text{в}}[\gamma(1-k) + k]\left(1 - e^{-\left(\gamma + \frac{1-\gamma}{c}\right)\tau_{\text{н}}}\right)}\right\}. \qquad (43)$$

Итак, в общем случае среднее значение тока возбуждения при дискретном регулировании зависит от:

относительной длительности импульса γ;

относительной длительности периода переключений $\tau_в$ (а следовательно, и от частоты переключений реле);

параметров цепи возбуждения (коэффициента c);

структуры регулирования (коэффициента k).

Изменения перечисленных величин могут быть положены в основу способа регулирования напряжения генераторов постоянного и переменного тока. В автотракторных регуляторах напряжения применяют широтно-импульсное регулирование (путем изменения γ), частотное регулирование (путем изменения $\tau_в$) или комбинированное (путем изменения γ и $\tau_в$).

По степени изменения параметров цепи возбуждения и изменения структуры регулирования простейшие регуляторы дискретного действия можно разделить на 12 групп:

I группа ($c = 1$; $k = 0$);
II группа ($c = 1$; $k = -1$);
III группа ($c = 1$; $k > 0$);
IV группа ($c = 1$, $k < 0$);
V—VIII группы ($c > 1$; $k = 0$; $k = -1$; $k > 0$; $k < 0$);
IX—XII группы ($c < 1$; $k = 0$; $k = -1$; $k > 0$; $k < 0$).

Известно, что наибольшая кратность регулирования по току возбуждения соответствует режиму холостого хода, для которого $U_г = C'_e n I_в/(a + bI_в)$.

Очевидно, что эта зависимость будет справедлива для напряжения срабатывания $U_{ср}$, для напряжения возврата $U_в$ и для среднего значения напряжения $U_{г.\,ср}$ (см. рис. 89).

$$U_{ср} = C'_e n I_1/(a + bI_1);$$

$$U_в = C'_e n I_2/(a + bI_2);$$

$$U_{г.\,ср} = C'_e n I_{в.\,ср}/(a + bI_{в.\,ср}).$$

Решая эти уравнения относительно I_1, I_2, $I_{в.\,ср}$, получаем

$$I_1 = (aU_{ср})/(C'_e n - bU_{ср});$$

$$I_2 = (aU_в)/(C'_e n - bU_в);$$

$$I_{в.\,ср} = (aU_{г.\,ср})/(C'_e n - bU_{г.\,ср}). \quad (44)$$

Основными параметрами реле регуляторов дискретного действия являются напряжение срабатывания реле $U_{ср}$ и коэффициент возврата

$$K_в = U_в/U_{ср} < 1.$$

Через параметры реле можно выразить среднее напряжение, поддерживаемое регулятором дискретного действия,

$$U_{г.\,ср} = 0{,}5\,(U_{ср} + U_в) = 0{,}5\,(1 + K_в)\,U_{ср},$$

а также пульсацию регулируемого напряжения

$\Delta U_г = U_{ср} - U_в = (1 - K_в) U_{ср}$.

Пульсация тока возбуждения равна

$$\Delta I_в = I_1 - I_2 = \frac{(aC'_e n \Delta U_г)}{[(C'_e n)^2 - 2bC'_e n U_{г.\,ср} + b^2 (U^2_{г.\,ср} - 0{,}25\,\Delta U^2_г)^2]}.$$

Если пренебречь членом $0{,}25\Delta U^2_г$, то пульсация тока возбуждения равна

$$\Delta I_в = (aC'_e n\, \Delta U_г)/(C'_e n - bU_{г.\,ср})^2. \qquad (45)$$

Из уравнения (45) следует, что при неизменном значении пульсации напряжения $\Delta U_г$ пульсация тока возбуждения уменьшается с повышением частоты вращения якоря. Это происходит потому, что характеристика намагничивания генератора имеет нелинейный характер.

Приравнивая правые части уравнений (43), (44) и (41), (45), получаем систему уравнений

$$\frac{U_и}{R_в}[\gamma(1-k)+k]\left\{1 - \frac{(1-c)(1-k)\left(1-e^{-\gamma\tau_в}\right)\left(1-e^{-(1-\gamma)\frac{\tau_в}{c}}\right)}{\tau_в[\gamma(1-k)+k]\left(1-e^{-\left(\gamma+\frac{1-\gamma}{c}\right)\tau_в}\right)}\right\} =$$

$$= \frac{aU_{г.\,ср}}{C'_e n - bU_{г.\,ср}}; \qquad (46)$$

$$\frac{U_и(1-k)\left(1-e^{-\gamma\tau_в}\right)\left(1-e^{-(1-\gamma)\frac{\tau_в}{c}}\right)}{R_в\left(1-e^{-\left(\gamma+\frac{1-\gamma}{c}\right)\tau_в}\right)} = \frac{ac'_e n\,\Delta U_г}{(C'_e n - bU_{г.ср})^2}. \qquad (47)$$

Уравнения (46) и (47) однозначно определяют γ и $\tau_в$ (а следовательно, и частоту переключений $f = 1/T = 1/(\tau_в T_в)$ в зависимости от частоты вращения якоря генератора. Если необходимо установить зависимость γ и $\tau_в$ от величины нагрузки, то в уравнения (46) и (47) вместо $U_{г.\,ср}$ следует подставить $(U_{г.\,ср} + r_{экв} I_г)$.

Как видно, γ и $\tau_в$ зависят от параметров реле ($U_{г.\,ср}$, $\Delta U_г$), параметров генератора (C'_e, a, b, $T_в$), схемы регулирования (c, k). Для определения зависимости γ и $\tau_в$ от изменения частоты вращения якоря генератора и нагрузки необходимо знать перечисленные параметры и величины.

Изложенная теория статики регулирования напряжения автотракторных генераторов посредством регуляторов дискретного действия создает основу для рассмотрения элементов теории конструкции и расчета регуляторов напряжения.

§ 17. Вибрационные регуляторы напряжения

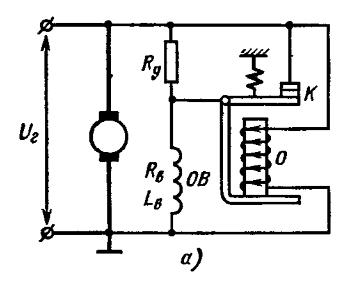
Регулирование напряжения автотракторных генераторов осуществляется при помощи быстродействующих вибрационных регуляторов напряжения, впервые разработанных в 1881 г. нашим соотечественником М. И. Кармановым.

Вибрационные регуляторы напряжения относятся к релейным регуляторам, в которых функции регулирующего органа выполняет электромагнитное реле (рис. 90, *а*).

Сердечник электромагнитного реле изготовлен из малоуглеродистой стали. Основная обмотка управления *О* подключена к зажимам якоря генератора. Сердечник укреплен на ярме, якорь электромагнитного реле поворачивается относительно ярма. Спиральная пружина стремится притянуть якорь к неподвижному контакту *К*. В цепь возбуждения включено добавочное сопротивление $R_д$, которое шунтируется контактами *К* электромагнитного реле.

Принципиальная электрическая схема регулирования напряжения автотракторного генератора с вибрационным регулятором напряжения приведена на рис. 90, *б*.

Если напряжение генератора меньше напряжения срабатывания электромагнитного реле $U_{ср}$, то контакты *К* замкнуты и обмотка возбуждения генератора подключена через эти контакты к зажимам генератора. Генератор самовозбуждается под действием ЭДС от остаточного магнитного потока. Когда напряжение генератора равно напряжению срабатывания реле $U_{ср}$, контакты *К* размыкаются, в цепь возбуждения включается добавочное сопротивление $R_д$. Сила тока в обмотке возбуждения и напряжение генератора уменьшаются. Как только напряжение генератора уменьшится до напряжения возврата (отпускания) реле $U_в$, контакты реле вновь замкнутся. Сила тока в обмотке возбуждения и напряжение генератора начнут увеличиваться. Когда напряжение генератора достигнет напряжения срабатывания реле, контакты вновь разомкнутся. Процесс периодически повторяется.



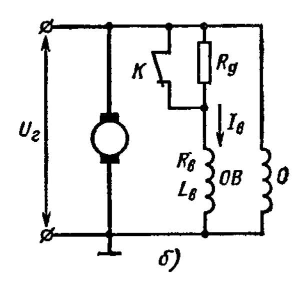


Рис. 90. Генератор постоянного тока с вибрационным регулятором напряжения:

а — схема включения регулятора; *б* — принципиальная схема

Пренебрегая пульсацией напряжения, процесс регулирования напряжения при помощи вибрационного регулятора напряжения можно описать дифференциальными уравнениями

$$U_{г.\,ср} = i_в R_в + L_в \frac{di_в}{dt} \text{ при } 0 \leqslant t \leqslant t_1;$$

$$U_{г.\,ср} = i_в (R_в + R_д) + L_в \frac{di_в}{dt} \text{ при } 0 \leqslant t \leqslant t_2,$$

где t_1 — время, в течение которого контакты замкнуты;
t_2 — время, в течение которого контакты разомкнуты.

Применительно к обозначениям, принятым при изложении теории дискретного регулирования, выражения (36), (37) для вибрационного регулятора напряжения $U_и = U_п = U_{г.\,ср}$; $R'_в = R_в + R_д$; $L'_в = L_в$.

Следовательно, для рассматриваемой системы регулирования

$$k = \frac{R_в}{R_в + R_д} = c < 1,$$

т. е. вибрационный регулятор напряжения относится к XI группе регуляторов напряжения, и среднее значение тока возбуждения определяется уравнением (43).

Регулирование тока возбуждения осуществляется путем изменения относительной длительности замкнутого состояния контактов γ и относительной длительности периода переключений $\tau_в$ (частоты). Если пренебречь влиянием частоты переключений на среднее значение силы тока возбуждения, т. е. вторым членом фигурных скобок уравнения (43), то

$$I_{в.\,ср} = \frac{U_{г.\,ср}}{R_в} [\gamma (1 - k) + k].$$

При $\gamma = 1$ (контакты замкнуты)

$$I_{в.\,ср} = I_{в\,max} = \frac{U_{г.\,ср}}{R_в}.$$

При $\gamma = 0$ (контакты разомкнуты)

$$I_{в.\,ср} = I_{в\,min} = \frac{U_{г.\,ср}}{R_в + R_д}.$$

Минимальное значение тока возбуждения $I_{в\,min}$ соответствует максимальной частоте вращения якоря генератора n_{max}.

Добавочное сопротивление для обеспечения заданной кратности регулирования

$$R_д > \frac{C'_e n_{max} - bU_{г.\,ср}}{a} - R_в.$$

Учитывая, что кратность регулирования по току возбуждения составляет 10—15, дополнительное сопротивление значительно больше сопротивления обмотки возбуждения.

Закон изменения относительной длительности замкнутого состояния контактов γ можно определить из уравнения (46). Пренебрегая влиянием частоты переключений на среднее значение силы тока возбуждения, получаем

$$\gamma = \frac{aR_{в}}{(1-k)\left(C'_{e}n - bU_{г.\,ср}\right)} - \frac{k}{1-k}.$$

Так как регулирующим органом вибрационного регулятора напряжения является электромагнитное реле, то для определения уровня и качества регулирования необходимо знать его характеристики. Очевидно, что размыкание контактов будет иметь место, когда сила натяжения пружины $F_{пр}$ и электромагнитная сила реле $F_{эм}$ равны, $F_{пр} = F_{эм}$. Электромагнитная сила

$$F_{эм} = \left(0{,}5\Phi_{\delta}^{2}\right)/\left(\mu_0 S\right),$$

где Φ_{δ} — магнитный поток в воздушном зазоре между сердечником и якорем реле;
S — площадь сердечника.

Магнитный поток в воздушном зазоре можно выразить через МДС, создаваемую током, протекающим по основной обмотке, и магнитным сопротивлением $R_{м}$

$$\Phi_{\delta} = (I_0 w_0)/R_{м},$$

где w_0 — число витков основной обмотки реле.

Ток I_0 при срабатывании реле (размыкании контактов) равен $I_0 = U_{ср}/r_0$, где r_0 — сопротивление основной обмотки реле.

Магнитное сопротивление (пренебрегая сопротивлением стали) пропорционально величине воздушного зазора между сердечником и якорем реле, т. е. $R_{м} = C'\delta$.

Таким образом, электромагнитную силу реле можно выразить следующим образом:

$$F_{эм} = \left(\frac{U_{ср} w_0}{r_0 C'\delta}\right)^2 \frac{1}{2\mu_0 S} = F_{пр}.$$

Решая уравнение относительно напряжения срабатывания реле, находим

$$U_{ср} = C\frac{r_0}{w_0}\delta\sqrt{F_{пр}},$$

где $C = C'\sqrt{2\mu_0 S}$.

Следовательно, напряжение срабатывания реле зависит от натяжения пружины $F_{пр}$, величины воздушного зазора δ и параметров обмотки управления реле (r_0 и w_0).

Для электромагнитных реле, применяемых в вибрационных регуляторах напряжения, коэффициент возврата реле $K_{в} = 0{,}8 \div 0{,}9$.

Итак, среднее значение напряжения, поддерживаемое вибрационным регулятором напряжения, определяют по формуле

$$U_{г.ср} = [(1 + K_в) C r_0 \delta \sqrt{F_{пр}}]/(2w_0). \qquad (48)$$

Отметим, что регулируемое напряжение зависит от натяжения пружины и величины воздушного зазора δ. При изменении воздушного зазора меняется коэффициент возврата реле. На практике регулировка напряжения осуществляется изменением силы натяжения пружины $F_{пр}$.

Частоту переключений можно определить из уравнения (47). Чтобы установить факторы, определяющие частоту переключений, экспоненциальные члены этого уравнения можно разложить в ряд и ограничить ряд двумя первыми членами.

Тогда

$$\frac{U_{г.ср}(1-k)(1-1+\gamma\tau_в)\left[1-1+(1-\gamma)\frac{\tau_в}{k}\right]}{R_в\left[1-1+\left(\gamma+\frac{1-\gamma}{k}\right)\tau_в\right]} = \frac{aC'_e n\,\Delta U_г}{(C'_e n - bU_{г.ср})^2},$$

откуда

$$\tau_в = \frac{T}{T_в} = \frac{1}{fT_в} = \frac{aC'_e n\,\Delta U_г\,(k\gamma-\gamma+1)}{(C'_e n - bU_{г.ср})^2\,\gamma(1-\gamma)}.$$

Если пренебречь величиной $k\gamma$, то

$$f = \frac{\gamma(C'_e n - bU_{г.ср})^2}{T_в aC'_e n\,\Delta U_г},$$

т. е. частота переключений зависит от постоянной времени цепи возбуждения $T_в$ и коэффициента возврата реле $\Delta U_г = (1 - K_в) U_{ср}$. С повышением частоты вращения якоря генератора частота переключений увеличивается.

При рассмотрении принципиальной схемы регулятора напряжения предполагалось, что контакты реле замыкаются и размыкаются мгновенно при $U_{ср}$ и $U_в$. В действительности из-за наличия электромагнитной инерции обмотки управления реле и механической инерции якоря происходит некоторая задержка в размыкании и замыкании контактов. Это приводит к уменьшению коэффициента возврата реле, а следовательно, к возрастанию $\Delta U_г$, которое в свою очередь вызывает уменьшение частоты переключений. Расчеты и практика показывают, что частота переключений простейшего вибрационного регулятора напряжения очень низкая (10—20 Гц).

Малая частота переключений при сравнительно небольшой пульсации напряжения обусловливает заметное мигание ламп, а также искрение в контактах, так как возрастает количество электричества, проходящего через разомкнутые контакты.

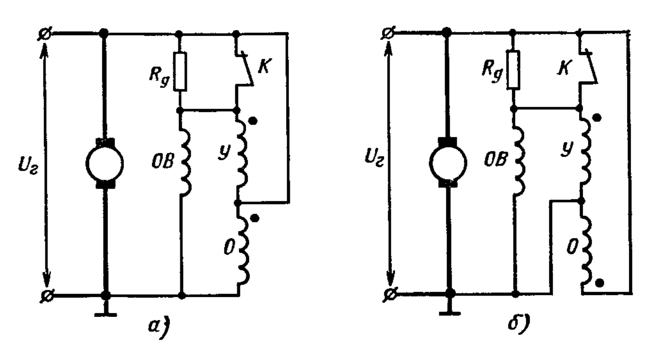


Рис. 91. Принципиальные схемы вибрационных регуляторов с ускоряющей обмоткой:

а — параллельно контактам; *б* — параллельно обмотке возбуждения

Для повышения частоты переключений реле необходимо повысить коэффициент возврата (уменьшить $\Delta U_г$) и быстродействие реле или добавочное сопротивление $R_д$. Увеличение добавочного сопротивления ведет к возрастанию разрывной мощности на контактах. Для снижения $\Delta U_г$ применяют различные жесткие и гибкие обратные связи.

Вибрационные регуляторы напряжения с ускоряющими обратными связями. Уменьшение пульсации напряжения $\Delta U_г$ в вибрационных регуляторах напряжения возможно при использовании так называемых ускоряющих обмоток и ускоряющих сопротивлений.

Ускоряющие обмотки намотаны на сердечник электромагнитного реле и включены или параллельно контактам реле (рис. 91, *а*), или параллельно обмотке возбуждения генератора (рис. 91, *б*). При этом МДС ускоряющей обмотки совпадает по направлению с МДС основной обмотки регулятора напряжения. Если ускоряющая обмотка включена параллельно обмотке возбуждения, то при замкнутых контактах напряжение на ускоряющей и основной обмотках равно напряжению генератора. Если реле с ускоряющей обмоткой имеет такое же напряжение срабатывания $U_{ср}$, как и реле с одной основной обмоткой *О*, то при равном натяжении пружины МДС срабатывания обоих реле одинаковы.

При разомкнутых контактах напряжение на ускоряющей обмотке уменьшается скачкообразно на величину $I_в R_д$. Это приводит к замыканию контактов при более высоком напряжении генератора, т. е. напряжение возврата $U_в$ возрастает. Следовательно, $\Delta U_г = U_{ср} - U_в$ уменьшится, а коэффициент возврата реле увеличится. При уменьшении $\Delta U_г$ частота переключений увеличивается.

Так как обмотки (ускоряющая и возбуждения) включены параллельно, то в любой момент времени их напряжения равны

($u_у = u_в$), а следовательно, равны между собой средние значения напряжений на этих обмотках $U_{у.\,ср} = U_{в.\,ср}$.

Если принять $U_{у.\,ср} = I_у r_у$; $U_{в.\,ср} = I_в R_в$, то $I_у = I_в \frac{R_в}{r_у}$.

Таким образом, ток в ускоряющей обмотке прямо пропорционален току возбуждения генератора, т. е. в схеме регулирования осуществляется жесткая обратная связь по току возбуждения. Это указывает на то, что с изменением тока возбуждения (изменением частоты вращения якоря или нагрузки генератора) изменяется и среднее значение напряжения, поддерживаемое регулятором.

Действительно, среднее значение результирующей МДС, создаваемой токами основной и ускоряющей обмоток, равно

$$F_{рез} = I_0 w_0 + I_у w_у = U_{г.\,ср} \frac{w_0}{r_0} + I_в \frac{R_в}{r_у} w_у.$$

Среднее значение магнитного потока

$$\Phi_{\delta\,ср} = F_{рез}/(C'\delta).$$

Приравнивая $F_{пр} = F_{эм}$, получаем

$$U_{г.\,ср} = \frac{r_0}{w_0}\left(C\delta\sqrt{F_{пр}} - I_в \frac{R_в}{r_у} w_у\right).$$

Следовательно, с введением ускоряющей обмотки увеличивается частота переключений реле. Однако с повышением частоты вращения генератора (ток возбуждения уменьшается) среднее значение напряжения на зажимах генератора увеличивается, т. е. появляется статическая ошибка.

Ускоряющее сопротивление $R_у$ в схеме вибрационного регулятора напряжения (рис. 92) представляет собой часть добавочного сопротивления $R_д$ между верхним и средним выводами. Электромагнитное реле имеет одну основную обмотку О управления, которую к зажимам генератора подключают через ускоряющее сопротивление. Расчетная величина добавочного сопротивления равна $R_д = R_у + R'_д$, где $R'_д$ — сопротивление между средним и нижним выводами.

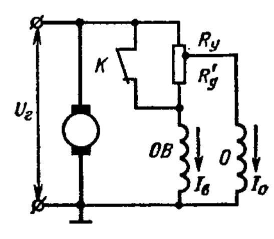


Рис. 92. Принципиальная схема вибрационного регулятора с ускоряющим сопротивлением

Обычно в вибрационных регуляторах напряжения с ускоряющим сопротивлением $R_у \ll R'_д$.

Такое включение основной обмотки с ускоряющим сопротивлением по сравнению со схемой включения без ускоряющего сопротивления обеспечивает значительное повышение частоты переключения реле.

При замкнутых контактах напряжение, приложенное к основной обмотке,

$$U_{о.з} = U_г - I_0 [(R_у R'_д)/(R_у + R'_д)] \approx U_г - I_0 R_у.$$

При размыкании контактов ток обмотки возбуждения из-за наличия самоиндукции не может изменяться скачкообразно и в первый момент сохраняет свою величину и направление. Проходя по ускоряющему сопротивлению, ток создает дополнительное падение напряжения на ускоряющем сопротивлении. В результате напряжение, приложенное к основной обмотке регулятора, уменьшается и равно

$$U_{о.р} = U_г - (I_0 + I_в) R_у.$$

Поэтому контакты реле замкнутся при более высоком напряжении генератора. Напряжение возврата реле $U_в$ возрастает, $\Delta U_г = U_{ср} - U_в$ уменьшится, а частота переключений реле увеличится.

Введение ускоряющего сопротивления наряду с ростом частоты переключений реле приводит к появлению статизма. С повышением частоты вращения генератора среднее значение напряжения на зажимах генератора возрастает. Схема с ускоряющим сопротивлением проще и имеет широкое применение в вибрационных регуляторах напряжения. Для компенсации статической ошибки в вибрационных регуляторах напряжения используют выравнивающие (компенсационные) обмотки и сопротивления. Выравнивающая обмотка *В* (рис. 93, *а*) включена последовательно с обмоткой возбуждения генератора, а ее МДС направлена навстречу МДС основной обмотки регулятора напряжения.

Если рассматривать регулятор напряжения с основной обмоткой и выравнивающей обмоткой без ускоряющих связей, то результирующая МДС

$$F_{рез} = F_0 - F_в = U_{г.ср} \frac{w_0}{r_0} - I_в w_в.$$

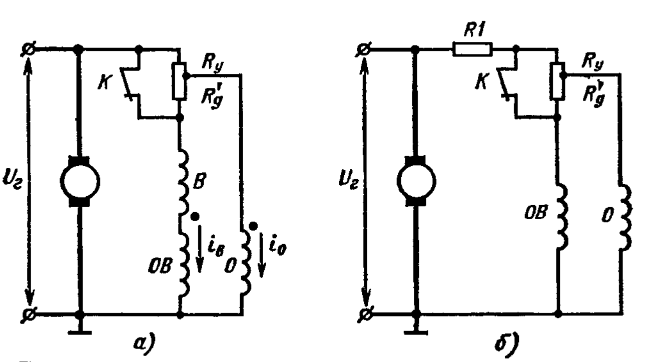


Рис. 93. Принципиальная схема вибрационных регуляторов:
а — с выравнивающей обмоткой; *б* — с выравнивающим сопротивлением

Тогда среднее значение напряжения, поддерживаемое регулятором

$$U_{г.\,ср} = \frac{(1 + K_в)\,r_0}{2w_0}\left(C\delta\sqrt{F_{пр}} + I_в w_в\right).$$

Итак, наличие выравнивающей обмотки способствует понижению напряжения при повышении частоты вращения (уменьшении тока возбуждения). Посредством выравнивающей обмотки осуществляется компенсация статической ошибки регулирования в вибрационных регуляторах напряжения с ускоряющими связями.

Выравнивающее сопротивление R_1 (рис. 93, *б*) включено последовательно в цепь возбуждения генератора. Напряжение генератора в этом случае выше напряжения, подаваемого к вибрационному регулятору, на величину $I_в R_1$.

Напряжение генератора изменяется по такому же закону, что и напряжение генератора с выравнивающей и основной обмотками управления без ускоряющих связей.

Схема регулятора напряжения с выравнивающим сопротивлением проще. Однако существенным недостатком этой схемы является увеличение сопротивления цепи возбуждения генератора, что приводит к повышению частоты вращения якоря генератора. Выравнивающее сопротивление R_1 обычно в несколько раз превышает сопротивление выравнивающей обмотки.

Таким образом, вибрационный регулятор для точного регулирования напряжения должен иметь основную обмотку управления, ускоряющую (ускоряющее сопротивление) и выравнивающую обмотку (выравнивающее сопротивление).

Температурная стабильность вибрационных регуляторов напряжения. Из уравнения (48) следует, что напряжение пропорционально сопротивлению r_0 основной обмотки. С изменением температуры сопротивление r_0 меняется. Например, при изменении температуры на 100° С сопротивление r_0 увеличивается на 40%. Следовательно, в таком же отношении будет изменяться и регулируемое напряжение. Подобное изменение регулируемого напряжения недопустимо. Для обеспечения температурной стабильности регулируемого напряжения последовательно с основной обмоткой включено дополнительное сопротивление из нихрома или константана, практически не изменяющееся при изменении температуры.

Кроме дополнительных сопротивлений температурной компенсации, посредством которых можно лишь сократить диапазон изменения регулируемого напряжения в зависимости от температуры, применяют подвеску якорька электромагнитного реле на термобиметаллической пластине. Пластина состоит из двух пластин, сваренных между собой. Пластина из инвара обладает малым линейным коэффициентом теплового расширения, пластина из хромоникелевой или молибденоникелевой стали — боль-

шим коэффициентом теплового расширения. Нагрев биметаллической пластины вызывает ее деформацию. В результате возникает сила, направление которой противоположно натяжению пружины $F_{пр}$. В этом случае суммарная сила, действующая на якорек, уменьшается с повышением температуры окружающей среды.

Для термокомпенсации регулируемого напряжения применяют и магнитные шунты из никелевой стали. Магнитное сопротивление этой стали с повышением температуры увеличивается. Шунт устанавливают между ярмом и сердечником. При высокой температуре шунт станет немагнитным, а магнитный поток в воздушном зазоре δ будет зависеть от МДС и сопротивления воздушного зазора. При низких температурах шунт станет магнитным и часть потока, создаваемого МДС, будет замыкаться по этому шунту.

Надежность вибрационных регуляторов напряжения, понятие о разрывной мощности. Надежность вибрационных регуляторов напряжения в значительной степени определяется состоянием контактов, которые подвергаются механическим, химическим и электрическим воздействиям.

Механические воздействия в виде ударов подвижного контакта о неподвижный приводят к смятию и растрескиванию контактов. Химические воздействия — окисление контактов и другие реакции материала контакта с газами, содержащимися в окружающей среде, — вызывают коррозию контактов, образование на поверхности контактов пленок с высоким удельным сопротивлением. Электрические воздействия в виде электрической дуги и электрической искры обусловливают появление эрозии (перенос металла с одного контакта на другой при высокой температуре в электромагнитном поле). При этом на одном контакте образуется впадина, а на другом — выступ.

Распространенным материалом для изготовления контактов является вольфрам, отличающийся большой твердостью и очень высокой температурой плавления (3370° С). Устойчивость вольфрама против эрозии выше, чем, например, серебра или платины. Контакты из вольфрама не свариваются, они стойки к механическому износу, имеют высокую долговечность. Недостатком контактов из вольфрама является их подверженность атмосферной коррозии с образованием оксидных и сульфидных пленок.

В вибрационных регуляторах используют и контактные пары (вольфрам—вольфрам, вольфрам—серебро), которые обладают хорошей электропроводностью и достаточной эрозионной стойкостью. Электрическое воздействие является определяющим фактором надежности работы контактов.

Установлено, что электрическая дуга может возникнуть при размыкании контактов, а электрические искры — как при размыкании, так и при замыкании контактов. Электрическая дуга возникает в том случае, если ток, проходящий через контакты,

и напряжение на контактах достаточны для ее поддержания. Искра возникает при небольших токах при напряжении на контактах свыше 300 В.

Влияние электрического воздействия на работоспособность контактов можно характеризовать так называемой *разрывной мощностью*

$$P_к = I_к U_к,$$

где $I_к$, $U_к$ — ток и напряжение на контактах в момент размыкания.

Для надежной работы контактной пары вольфрам—вольфрам максимальное значение разрывной мощности не должно превышать 300 В·А.

Максимальная разрывная мощность имеет место при минимальной частоте вращения якоря генератора, когда

$$P_к = I_{в\,max} U_к = \frac{U_{г.\,ср}}{R_в} U_{г.\,ср} \frac{R_д}{R_в} = \frac{U^2_{г.\,ср}}{R^2_в} R_д.$$

Практически в схемах регуляторов для обеспечения заданного предела регулирования по частоте вращения с учетом устойчивости работы реле выбирают более высокие значения $R_д$. Однако это не затрудняет гашения дуги, так как ток возбуждения значительно меньше максимального (при максимальном токе возбуждения регулятор работает незначительное время) и динамический характер размыкания контактов таков, что между максимальным током и максимальным напряжением имеется сдвиг по фазе.

Надежность работы контактов вибрационного регулятора можно повысить при двухступенчатом регулировании. Двухступенчатый регулятор напряжения (рис. 94, *а*) имеет две пары контактов *К1* и *К2* и общий якорек. При $n_х < n < n_{ср}$ работают контакты *К1*. Первая ступень двухступенчатого регулятора напряжения относится к XI группе.

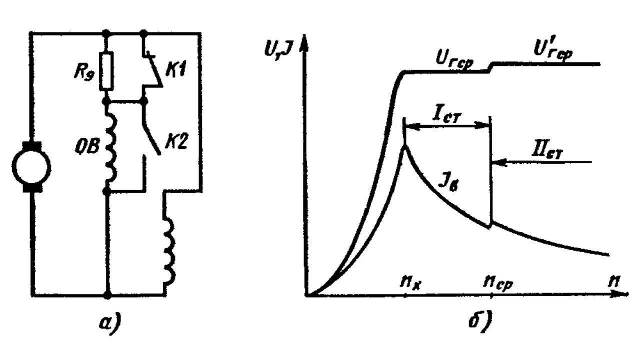


Рис. 94. Двухступенчатый вибрационный регулятор напряжения:
а — принципиальная схема; *б* — рабочая характеристика

Добавочное сопротивление выбирают для поддержания постоянного напряжения лишь до частоты вращения $n_{ср}$

$R_д = (U_{г.\,ср}/I_{в.\,ср}) - R_в.$

При дальнейшем увеличении частоты вращения вступают в работу контакты $K2$. При этом уровень регулируемого напряжения повышается (рис. 94, *б*).

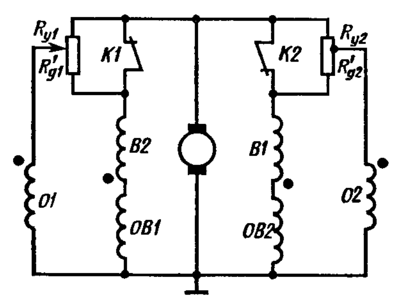


Рис. 95. Принципиальная схема сдвоенных вибрационных регуляторов напряжения

Вторая ступень двухступенчатого регулятора напряжения относится к V группе. Так как дополнительное сопротивление $R_д$ в двухступенчатом регуляторе значительно меньше, чем в одноступенчатом, то и разрывная мощность на контактах меньше. Условия работы второй пары контактов лучше, так как они разрывают небольшой ток возбуждения.

Недостатками двухступенчатого регулятора напряжения являются низкая надежность и стабильность регулирования. Для снижения ступени регулирования напряжения ($U'_{г.\,ср} - U_{г.\,ср}$) необходимо, чтобы ход якоря был минимальным. В случаях запыления или загрязнения якорь заклинивается, что нарушает работу регулятора.

Другим способом уменьшения разрывной мощности вибрационного регулятора напряжения является применение сдвоенных регуляторов напряжения (рис. 95).

Обмотка возбуждения генератора разделена на две параллельные ветви, что обеспечивает снижение n_x — скорости вращения якоря генератора, при которой генератор развивает номинальное напряжение. В каждую ветвь возбуждения включен вибрационный регулятор.

Для обеспечения одновременной работы двух регуляторов выравнивающие обмотки перекрещиваются (последовательно контактам первого регулятора включена выравнивающая обмотка второго регулятора $B2$, и наоборот). При таком включении выравнивающих обмоток в момент размыкания контактов одного регулятора, например первого, ток в выравнивающей обмотке $B2$ уменьшается. Так как МДС выравнивающей обмотки направлена навстречу МДС основной обмотки, то результирующая МДС второго регулятора увеличивается и его контакты размыкаются. Следовательно, в процессе регулирования напряжения участвуют оба регулятора.

При отсутствии перекрещивающихся выравнивающих обмоток регуляторы напряжения вступают в работу не одновременно. Неравномерность нагрузки между сдвоенными регуляторами напряжения возможна и при неправильной регулировке регу-

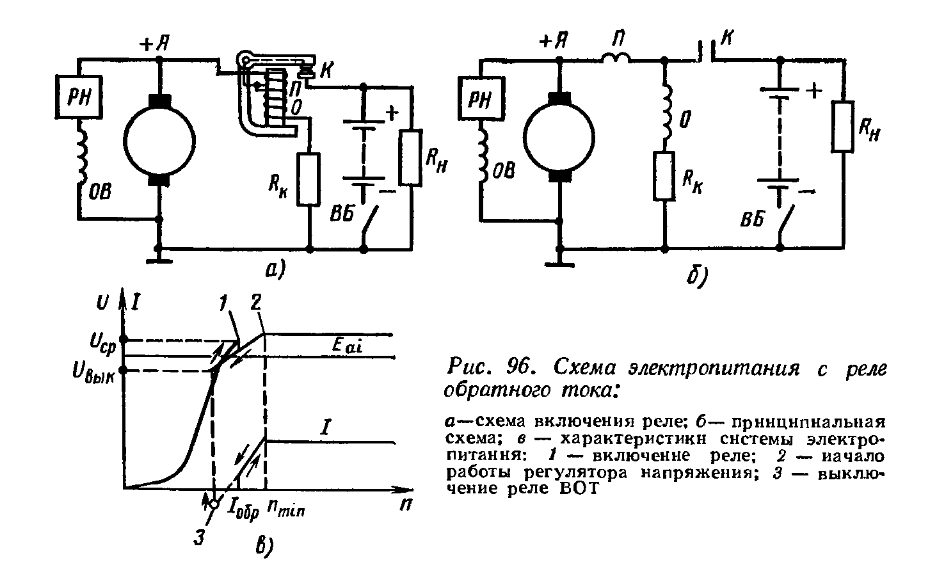


Рис. 96. Схема электропитания с реле обратного тока:

а — схема включения реле; *б* — принципиальная схема; *в* — характеристики системы электропитания: *1* — включение реле; *2* — начало работы регулятора напряжения; *3* — выключение реле ВОТ

ляторов. Поэтому в эксплуатации необходимо следить за правильностью регулировки обоих регуляторов напряжения.

Защита автотракторных генераторов от обратных токов и перегрузки. Генератор должен подключаться к сети, когда его напряжение выше напряжения аккумуляторной батареи $U_г > U_а$, и отключаться от сети, когда $U_р < U_а$. Эти функции выполняет реле обратного тока.

Реле обратного тока (рис. 96) представляет собой электромагнит с нормально разомкнутыми контактами. На сердечнике реле размещены две обмотки управления: основная, подключенная параллельно генератору, и последовательная, включенная в цепь якоря генератора. Замыкающие контакты реле *К* включены между генератором и аккумуляторной батареей (сетью).

Напряжение срабатывания $U_{ср}$ реле обратного тока выбирают, исходя из следующих соображений. Полностью заряженная аккумуляторная батарея имеет ЭДС 12,7 В (12-вольтовая) и 25,5 В (24-вольтовая). Вибрационный регулятор напряжения поддерживает напряжение $U_{г.\,ср} = 14 \pm 0{,}5$ В или $U_{г.\,ср} = 28 \pm 1$ В. Следовательно, чтобы не допустить разряда аккумуляторной батареи на генератор и обеспечить подключение генератора к сети, когда $U_г > U_а$, напряжение срабатывания реле обратного тока должно быть $U_{ср} = 12{,}7 \div 13{,}2$ В или 25,5—27 В. Напряжение срабатывания реле обратного тока определяют аналогично напряжению срабатывания вибрационного регулятора. Регулируют напряжение путем изменения натяжения пружины $F_{пр}$ или величины воздушного зазора.

Основная и последовательная обмотки реле включены таким образом, что при $U_г > U_А$ они действуют согласованно. Результирующая МДС при этом равна

$$F_{рез} = F_0 + F_п,$$

т. е. последовательная обмотка усиливает действие основной обмотки, что обеспечивает надежное подключение генератора к сети.

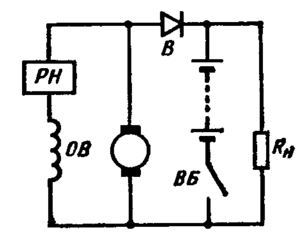


Рис. 97. Схема включения полупроводникового вентиля, выполняющего функцию реле обратного тока

При $U_г < U_А$ ток в цепи якоря генератора, а следовательно, и в последовательной обмотке реле меняет свое направление. Результирующая МДС в этом случае равна

$$F'_{рез} = F_0 - F_п.$$

Чем больше сила обратного тока, тем сильнее размагничивание сердечника и тем меньше сила притяжения якоря реле. При некотором значении обратного тока результирующая МДС снижается до значения, при котором реле обратного тока размыкает свои контакты, отключая генератор от сети.

Обратный ток, при котором произойдет размыкание контактов реле, равен

$$I_{обр} = U_{отп}\frac{w_0}{r_0 w_п} - \frac{C\delta_р\sqrt{F_{пр}}}{w_п}.$$

Отсюда следует, что силу обратного тока можно регулировать также путем изменения натяжения пружины $F_{пр}$ или величины воздушного зазора при замкнутых контактах реле.

Функции реле обратного тока может выполнять и полупроводниковый вентиль (рис. 97). В этом случае генератор к аккумуляторной батарее подключают через полупроводниковый вентиль *В*.

Когда напряжение генератора меньше напряжения аккумуляторной батареи или генератор «переполюсован», то вентиль включен в обратном направлении. По вентилю протекает обратный ток $I_{обр}$. Сила обратного тока вентиля незначительна (несколько миллиампер), и генератор практически отключен от сети.

Когда $U_г > U_а$ или аккумуляторная батарея отсутствует, то вентиль включен в прямом направлении и его сопротивление мало (падение напряжения на вентиле 0,5—0,8 В). В этом случае генератор подключен к сети.

Недостатками такого способа защиты генератора от обратных токов являются:

сравнительно большое падение напряжения в прямом направлении и значительные внутренние потери, что требует специальных мер по охлаждению вентиля;

высокая чувствительность к кратковременным перегрузкам и коротким замыканиям.

В генераторах переменного тока функции реле обратного тока выполняет выпрямитель, включенный между генератором и аккумуляторной батареей.

Защита генератора от перегрузок. Перегрузки генератора возникают при сильной разрядке или неисправности аккумуляторной батареи.

Так как зарядка аккумуляторных батарей на автомобиле и тракторе осуществляется при постоянном напряжении, то зарядный ток зависит как от степени заряженности аккумуляторной батареи, так и от времени заряда. В начальный период заряда зарядный ток может значительно превышать номинальный ток генератора.

Для защиты генератора от перегрузок применяют либо ограничитель тока, либо регулятор напряжения с падающей характеристикой.

Ограничитель тока представляет собой электромагнитное реле, аналогичное вибрационному регулятору напряжения. Основная обмотка ограничителя тока включена в цепь якоря генератора и является последовательной обмоткой *П*. Ее МДС

$$F_{\text{ог}} = I_{\text{г}} w_{\text{ог}},$$

где $I_{\text{г}}$ — ток генератора;

$w_{\text{ог}}$ — число витков обмотки ограничителя тока.

Подставив это выражение МДС в уравнение (48) вместо МДС, равной $U_{\text{г. ср}}\, w_0/r_0$, можно показать, что

$$I_{\text{г. ср}} = [(1 + K_{\text{в}}) C\delta \sqrt{F_{\text{пр}}}]/(2w_{\text{ог}}).$$

При неизменных значениях $K_{\text{в}}$, δ и $F_{\text{пр}}$ ограничитель поддерживает ток генератора постоянным. Ограничитель тока включен последовательно с регулятором напряжения. Оба регулятора воздействуют на силу тока возбуждения генератора. Следовательно, регулятор напряжения и ограничитель тока работают не одновременно. Регулятор напряжения работает при нагрузке генератора, не превышающей номинальную, а ограничитель — при перегрузке.

Обычно для регулятора напряжения и ограничителя тока используют одно (общее) добавочное сопротивление. Однако, учитывая, что при нагрузке кратность регулирования по току возбуждения меньше, чем в режиме холостого хода, применяют и раздельные добавочные сопротивления. При этом добавочное сопротивление для ограничителя тока меньше, чем для регулятора напряжения.

Для ограничения силы тока генератора применяют также и регуляторы напряжения с падающей характеристикой. В таком регуляторе напряжения кроме основной обмотки управления имеется добавочная (последовательная) обмотка управления,

включаемая в цепь якоря генератора. Напряжение, поддерживаемое таким регулятором, будет уменьшаться при увеличении тока нагрузки по линейному закону.

Для генераторов постоянного тока используют трехэлементные реле-регуляторы, содержащие регулятор напряжения, ограничитель тока и реле обратного тока. В регуляторах напряжения с падающей характеристикой применяют двухэлементные реле-регуляторы, включающие регулятор напряжения и реле обратного тока.

Для генераторов переменного тока применяют одноэлементные реле-регуляторы, так как генераторы имеют токоскоростную характеристику с явно выраженным самоограничением. Для генераторов переменного тока повышенной мощности используют и двухэлементные реле-регуляторы с регулятором напряжения и ограничителем тока.

§ 18. Бесконтактные регуляторы напряжения

Основным недостатком вибрационных регуляторов напряжения является наличие вибрирующих контактов, которые ограничивают максимально допустимую силу тока возбуждения генератора, снижают надежность регулятора. Применяемые способы уменьшения разрывной мощности контактов не устраняют полностью перечисленных недостатков, а лишь позволяют несколько расширить область применения вибрационных регуляторов напряжения.

Вибрационные регуляторы напряжения в процессе эксплуатации требуют систематической регулировки, так как задающим элементом является пружина, упругость которой зависит от условий эксплуатации.

С ростом мощности автотракторных генераторов и повышением их долговечности вопрос о регулировании напряжения приобрел особую остроту.

В настоящее время разрабатывают в основном бесконтактные регуляторы напряжения с использованием полупроводниковых приборов: диодов, стабилитронов, туннельных диодов, транзисторов, тиристоров. Рассмотрим характеристики полупроводниковых приборов и способы их выражения.

Полупроводниковый диод. При расчетах цепи, содержащей диод, включенный в прямом направлении, вольт-амперная характеристика для прямого направления может быть аппроксимирована кусочно-линейной функцией вида $U = U_{\text{од}} + R_{\text{д}}i$.

С повышением температуры перехода пороговое напряжение уменьшается, а динамическое сопротивление увеличивается. Пренебрегая изменением динамического сопротивления, получаем

$$U_{\text{пр}} = U_{\text{од}} - \alpha_{\text{д}}(t - 20) + R_{\text{д}}I_{\text{пр}},$$

где $\alpha_{\text{д}}$ — температурный коэффициент, равный 0,001—0,0025.

Стабилитрон. Рабочий участок вольт-амперной характеристики кремниевого стабилитрона может быть описан уравнением

$$U_{ст} = U_{ост} + r_{ст} I_{ст},$$

где $U_{ост}$ — пороговое напряжение (напряжение пробоя);
$r_{ст}$ — динамическое сопротивление стабилитрона.

Так как напряжение стабилизации и динамическое сопротивление определяют при определенном значении тока стабилизации, то по этим данным можно определить пороговое напряжение $U_{ост}$. Напряжение стабилизации зависит от температуры перехода, что можно выразить следующим образом:

$$U_{ст\,t} = U_{ост} + \alpha_{ст}(t - 20) + r_{ст} I_{ст},$$

где $\alpha_{ст}$ — температурный коэффициент, равный 0,005—0,02.

Температурный коэффициент зависит от напряжения стабилизации: с повышением напряжения стабилизации температурный коэффициент $\alpha_{ст}$ увеличивается.

Кремниевые стабилитроны имеют ограничения по минимальному, максимальному токам и по допустимой рассеиваемой мощности. Вольт-амперная характеристика кремниевого стабилитрона в прямом направлении подобна характеристике обычного выпрямительного диода.

Транзистор. В регуляторах напряжения транзисторы обычно работают в режиме переключений. Это обеспечивает стабильность работы и высокий КПД. В режиме переключений свойства транзистора определяются входной характеристикой $I_э = f(U_э)$ или $I_б = f(U_э)$ при $U_к = 0$ и коэффициентом усиления по току B. Входную характеристику транзистора можно аппроксимировать функцией

$$U_э = U_{0э} + r_э I_э$$

или

$$U_э = U_{0э} + r'_э I_б,$$

где $U_э$ — напряжение на эмиттерном переходе;
$U_{0э}$ — пороговое напряжение;
$r_э$, $r'_э$ — динамические сопротивления.

Изменения температуры переходов транзистора приводят к смещению входной характеристики и изменению коэффициента усиления по току. Влияние температуры переходов на входную характеристику учитывают следующим образом:

$$U_{эt} = U_{0э} - \alpha_т(t - 20) + r_э I_э,$$

где $\alpha_т$ — температурный коэффициент, равный 0,0008—0,002.

Изменения коэффициента усиления по току от температуры можно представить уравнением

$$B_t = B + \alpha_B(t - 20).$$

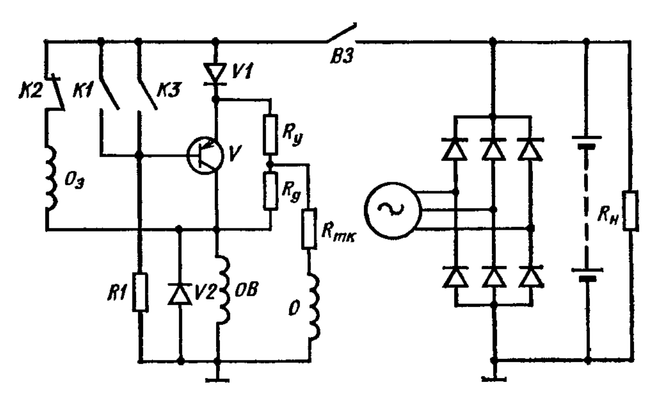


Рис. 98. Принципиальная схема контактно-транзисторного регулятора напряжения

Для германиевых транзисторов температурный коэффициент имеет отрицательное значение.

Тиристор. Тиристоры имеют более высокий коэффициент усиления по току и большее предельно допустимое анодное напряжение.

В регуляторах напряжения тиристоры применяются редко, обычно в регуляторах напряжения для генераторов переменного тока (на стороне переменного напряжения), где можно осуществлять естественную коммутацию.

Контактно-транзисторный регулятор напряжения. В контактно-транзисторном регуляторе напряжения (рис. 98) функции регулирующего устройства выполняет транзистор *V*, который включен через диод *V1* в цепь возбуждения. Управление транзистором осуществляется посредством электромагнитного реле с общим якорем и двумя парами контактов *К1* и *К2*. Это реле имеет одну основную обмотку управления *О* и включено по схеме с ускоряющим и выравнивающим сопротивлениями. Функции выравнивающего сопротивления выполняет диод *V1*. Одновременно диод *V1* обеспечивает состояние отсечки транзистора, когда замкнуты контакты *К1* или *К3*. Необходимая степень насыщения транзистора обеспечивается подбором сопротивления *R1*, по которому протекает ток базы.

Переключение транзистора из состояния насыщения в состояние отсечки и обратно осуществляется посредством электромагнитного реле, контакты *К1* которого шунтируют эмиттерный переход транзистора. Чтобы исключить перенапряжения на транзисторе, возникающие при коммутации цепи возбуждения, обмотка возбуждения *ОВ* генератора шунтирована диодом *V2*.

Так как транзисторы чувствительны даже к кратковременным перегрузкам, в регуляторе напряжения предусмотрена защита от коротких замыканий. Функции защиты выполняет электро-

магнитное реле с нормально разомкнутыми контактами *К3*. Это реле имеет одну обмотку управления O_3, включенную через нормально замкнутые контакты *К2* и диод *V1* параллельно транзистору *V*.

Чтобы исключить разряд аккумуляторных батарей на обмотку возбуждения при неработающем первичном двигателе, в генераторных установках переменного тока реле-регулятор, как правило, подключают к генератору через выключатель зажигания *В3*.

Работа контактно-транзисторного регулятора напряжения протекает следующим образом.

При включении выключателя зажигания регулятор напряжения подключается к аккумуляторной батарее. К эмиттерному переходу транзистора *V* прикладывается напряжение в прямом направлении ($U_э > 0$), и транзистор переключается в состояние насыщения. Степень насыщения, как уже отмечалось, определяется сопротивлением *R1*. Чем меньше сопротивление *R1*, тем больше ток базы $I_б$, тем выше степень насыщения. Сопротивление транзистора в состоянии насыщения очень мало. К обмотке возбуждения прикладывается напряжение аккумуляторной батареи, в результате чего генератор возбуждается. С увеличением тока возбуждения повышается напряжение генератора.

Как только напряжение генератора достигает величины, при которой срабатывает реле $U_{ср}$, контакты *К1* замыкаются и транзистор переключается в состояние отсечки. Для смещения эмиттерного перехода транзистора в обратном направлении ($U_э < 0$) в цепь эмиттера включен диод *V1*. При замкнутых контактах *К1* падение напряжения на диоде приложено к эмиттерному переходу в обратном направлении.

Сопротивление транзистора в состоянии отсечки значительно (велико и сопротивление $R_у + R_д$). В результате обмотка возбуждения практически отключается от генератора. Ток в обмотке возбуждения уменьшается, возникает ЭДС самоиндукции, которая приложена к шунтирующему диоду *V2* в прямом направлении. ЭДС самоиндукции замыкается через шунтирующий диод. Напряжение на транзисторе $U_{эк} = U_г = U_{г. ср}$ (полагая, что напряжения на диодах *V1* и *V2* равны).

С уменьшением тока возбуждения уменьшается и напряжение генератора. При $U_г = U_в$ контакты реле *К1* разомкнутся и транзистор переключится в состояние насыщения. Затем процессы будут повторяться, транзистор периодически будет переключаться.

При случайном или преднамеренном замыкании клеммы «Ш» регулятора или генератора на массу (короткое замыкание обмотки возбуждения) к основной обмотке реле защиты $O_з$ через замкнувшиеся контакты *К2* подается напряжение аккумуляторных батарей. Реле защиты срабатывает, замыкая контакты *К3* Транзистор *Т* переключается из активного состояния в состояние от-

сечки. Контакты реле защиты замкнуты до тех пор, пока не будет устранено короткое замыкание.

Если пренебречь падением напряжения на диодах, включенных в прямом направлении, и транзисторе в состоянии насыщения, то процесс регулирования можно описать дифференциальными уравнениями:

если контакты $K1$ разомкнуты,

$$U_{\text{г.ср}} = i_{\text{в}} R_{\text{в}} + L_{\text{в}} \frac{di_{\text{в}}}{dt} \text{ при } 0 \leqslant t \leqslant t_1;$$

если контакты $K1$ замкнуты,

$$0 = i_{\text{в}} R_{\text{в}} + L_{\text{в}} \frac{di_{\text{в}}}{dt} \text{ при } 0 \leqslant t \leqslant t_2.$$

Как видно, для этой системы регулирования $k = 0$, $c = 1$, т. е. система относится к первой группе. Для этой группы регуляторов

$$I_{\text{в. ср}} = \frac{U_{\text{г. ср}}}{R_{\text{в}}} \gamma = \frac{aU_{\text{г. ср}}}{C_{\text{е}}'n - bU_{\text{г, ср}}},$$

откуда

$$\gamma = \frac{aR_{\text{в}}}{C_{\text{е}}'n - bU_{\text{г. ср}}}. \tag{49}$$

Следовательно, в этой системе регулирования среднее значение силы тока зависит только от относительной длительности нахождения транзистора в состоянии насыщения γ. Относительная длительность γ при изменении частоты вращения ротора n изменяется по гиперболическому закону. Следует отметить, что при $\gamma = 0$

$$I_{\text{в}} = U_{\text{г}}/(R_{\text{у}} + R_{\text{д}} + R_{\text{в}}).$$

Частоту переключений реле и транзистора можно определить из уравнения (47), полагая, что $k = 0$, $c = 1$. Если экспоненциальные члены этого уравнения разложить в ряд и ограничить ряд двумя первыми членами, получим зависимость

$$U_{\text{г. ср}} \gamma (1 - \gamma) \tau_{\text{в}}/R_{\text{в}} = (aC_{\text{е}}'n \Delta U_{\text{г}})/(C_{\text{е}}'n - bU_{\text{г. ср}})^2. \tag{50}$$

Из уравнения (50) находим

$$f = 1/T = 1/(T\tau_{\text{в}}) = [U_{\text{г. ср}} (C_{\text{е}}'n - bU_{\text{г. ср}})^2 \gamma (1 - \gamma)]/(aR_{\text{в}} T_{\text{в}} C_{\text{е}}'n \Delta U_{\text{г}}).$$

Подставляя в последнее уравнение значение γ [уравнение (49)], находим, что

$$f = [U_{\text{г. ср}} (C_{\text{е}}'n - bU_{\text{г. ср}} - aR_{\text{в}})]/(T_{\text{в}} C_{\text{е}}'n \Delta U_{\text{г}}).$$

Электромагнитное реле в контактно-транзисторном регуляторе напряжения работает в режиме автоколебаний. На пульсацию выпрямленного напряжения электромагнитное реле не

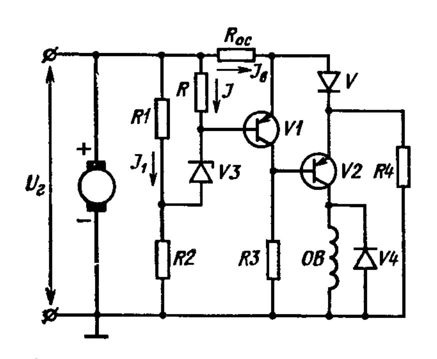


Рис. 99. Принципиальная схема транзисторного регулятора напряжения с эмиттерной обратной связью

реагирует, так как имеет значительную инерционность. В контактно-транзисторном регуляторе напряжения контакты реле разрывают небольшой ток — ток базы транзистора

$I_б = I_к/B = I_в/B.$

Кроме того, в цепи контактов *K1* отсутствует индуктивность. Все это приводит к повышению надежности регулятора напряжения.

Кроме рассмотренных, известны и другие схемы контактно-транзисторных регуляторов напряжения, отличающиеся местом включения контактов реле и структурой регулирования. Дальнейшим шагом в повышении надежности регуляторов напряжения является переход к бесконтактным полупроводниковым регуляторам напряжения.

Бесконтактные транзисторные регуляторы напряжения. Основу бесконтактных транзисторных регуляторов напряжения составляют транзисторные реле с эмиттерной или коллекторной обратной связью.

Простейшая схема бесконтактного транзисторного регулятора напряжения представлена на рис. 99. Транзисторный регулятор напряжения состоит из измерительного органа (цепочки *R1—R2—R—V3*) и регулирующего устройства, представляющего собой транзисторное реле с эмиттерной обратной связью (транзисторы *V1*, *V2*, диод *V*, сопротивления *R3*, *R4* и сопротивление обратной связи R_{oc}). Нагрузкой транзисторного реле является обмотка возбуждения генератора, шунтированная диодом *V4*.

Если напряжение на сопротивлении *R1* меньше порогового напряжения стабилитрона *V3*, то стабилитрон не «пробит», и ток, протекающий по цепи *R—V3*, практически равен нулю. Напряжение, приложенное к эмиттерному переходу транзистора *V1*,

$$U_{э1} = U_R - U_{R_{oc}} < 0.$$

Следовательно, первый транзистор находится в состоянии отсечки. Напряжение $U_{эк1}$ практически равно напряжению генератора и приложено к эмиттерному переходу транзистора *V2* в прямом направлении. Транзистор *V2* находится в состоянии насыщения. Степень насыщения определяется величиной сопротивления *R3*.

Учитывая, что сопротивление R_{oc} и падение напряжения на диоде *V* мало, можно считать, что к обмотке возбуждения по-

дается практически напряжение генератора. Таким образом, обеспечивается самовозбуждение генератора.

При напряжении генератора, равном напряжению срабатывания транзисторного реле $U_{ср}$, по цепочке $R—V3$ протекает ток $I = I_{ст}$ и

$$IR - U_{R_{ос}} = IR - I_в R_{ос} = U_{оэ1},$$

т. е. напряжение на эмиттерном переходе первого транзистора достигает порогового значения $U_{оэ1}$. Транзистор $V1$ переключается из состояния отсечки в состояние насыщения, а это приводит к уменьшению напряжения $U_{эк1}$ и переключению транзистора $V2$ из состояния насыщения в состояние отсечки. Ток возбуждения уменьшается, что вызывает скачкообразное повышение входного напряжения на транзисторе $V1$

$$\overset{\uparrow}{U}_{э1} = IR - \overset{\downarrow}{I}_в R_{ос}$$

и переключение его из состояния отсечки в состояние насыщения.

При переключении транзистора $V1$ в состояние насыщения

$$U_{э2} = U_{эк\,1} - U_д < 0$$

и транзистор $V2$ переключается в состояние отсечки. Смещение эмиттерного перехода транзистора $V2$ в обратном направлении обеспечивается подбором параметров цепочки $V—R4$.

Переключение транзистора $V2$ в состояние отсечки равносильно отключению обмотки возбуждения генератора OB от генератора. Ток возбуждения уменьшается, протекая по контуру $OB—V4$.

Уменьшение тока возбуждения приводит к падению напряжения генератора.

Как только напряжение генератора достигнет величины напряжения возврата транзисторного реле $U_в$, напряжение на эмиттерном переходе транзистора $V2$ достигнет порогового напряжения, т. е.

$$U_{э2} = U_{эк\,1} - U_д = U_{оэ2}.$$

При этом транзистор $V2$ начинает переключаться из состояния отсечки в состояние насыщения, что приводит к повышению тока возбуждения. Увеличение тока возбуждения вызывает падение напряжения на эмиттерном переходе первого транзистора

$$U_{э1} = IR - I_в R_{ос} < U_{оэ1}.$$

Транзистор из состояния насыщения переключается в состояние отсечки, а транзистор $V2$ из состояния отсечки в состояние насыщения. Следовательно, релейный эффект в рассматриваемом регуляторе достигается посредством сопротивления $R_{ос}$, обеспечивающего положительную обратную связь.

При напряжении срабатывания транзисторного реле $U_{ср}$ справедливы уравнения

$$\left.\begin{aligned} U_{ср} &= I_1(R_1+R_2)+IR_2; \\ U_{ср} &= I(R+r_{ст})+U_{ост}+(I+I_1)R_2, \end{aligned}\right\} \qquad (51)$$

причем условием переключения является

$$U_{0э1}=IR-I_{в}R_{ос}.$$

Решая систему уравнений (51) относительно напряжения срабатывания с учетом условия переключения, находим

$$U_{ср}=U_{ост}\left(1+\frac{R_2}{R_1}\right)+\frac{U_{0э1}+I_{в}R_{ос}}{RR_1}[(R+R_2+r_{ст})(R_1+R_2)-R_2^2].$$

Таким образом, напряжение срабатывания транзисторного реле можно изменять путем изменения сопротивлений $R1$ и $R2$. С увеличением сопротивления $R1$ напряжение срабатывания падает. Напряжение срабатывания зависит от тока возбуждения, а следовательно, и частоты вращения якоря генератора.

Для напряжения возврата транзисторного реле $U_{в}$, пренебрегая падением напряжения на сопротивлении $R_{ос}$ ($R_{ос}$ мало), справедливы уравнения

$$\left.\begin{aligned} U_{в} &= U_{0д}+I_{д}R_{д}+B_1I_{б1}R_3+U_{0э2}; \\ U_{в} &= U_{0д}+(R_{д}+R_4)I_{д}; \\ U_{в} &= I_1'(R_1+R_2)+(I_{б1}+I')R_2; \\ U_{в} &= U_{ост}+I'(R+R_2+r_{ст})+I_{б1}(r_{ст}+ \\ &\quad +R_2)+I_1'R_2; \\ U_{0э1} &= I'R-r_{э1}(1+B_1)I_{б1}; \end{aligned}\right\} \qquad (52)$$

где I_1', I' — токи, протекающие по сопротивлениям R_1 и R, при напряжении возврата $U_{в}$;
$U_{ост}$, $U_{0эi}$, $U_{од}$, $r_{ст}$, $r_{эi}$, $R_{д}$ — коэффициенты аппроксимации вольт-амперной характеристики стабилитрона, транзистора и диода.

Решая систему уравнений (52), можно определить напряжение возврата транзисторного реле

$$U_B=C_B/D_B,$$

где

$$C_B=(R_1+R_2)U_{ост}-\frac{U_{0э1}}{r_{э1}(1+B_1)}[R_1(r_{ст}+R_2)+R_2r_{ст}]+$$
$$+\frac{1}{B_1R_3R}[(U_{0д}+U_{0э2})(1+B_1)r_{э1}-B_1R_3U_{0э1}]A;$$

$$D_B=R_1-\frac{r_{э1}(1+B_1)}{B_1R_3R}A;$$

$$A=(R_1+R_2)\left[\frac{r_{ст}R}{r_{э1}(1+B_1)}+R+r_{ст}\right]+R_1R_2\left[\frac{R}{r_{э1}(1+B_1)}+1\right].$$

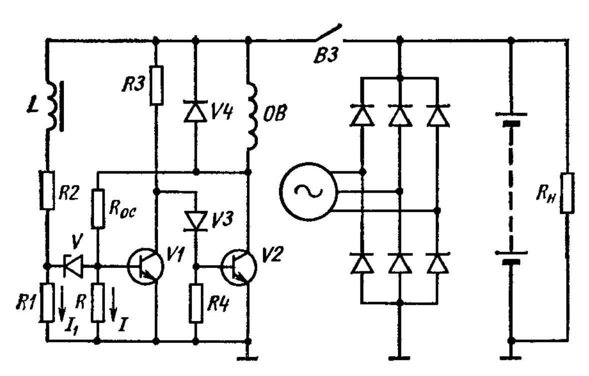


Рис. 100. Принципиальная схема транзисторного регулятора напряжения с коллекторной обратной связью

При решении системы уравнений принято

$R_4/(R_д + R_4) = 1$.

Напряжение возврата $U_в$ транзисторного реле не зависит от тока возбуждения, а следовательно, и от частоты вращения якоря. Определив напряжение срабатывания и напряжение возврата, можно определить другие параметры транзисторного реле. Для транзисторного реле коэффициент возврата $K_в = 0{,}91 \div 0{,}98$. В первом приближении можно считать, что уровень напряжения, поддерживаемый транзисторным регулятором напряжения,

$$U_{г.\,ср} \approx U_{ост}(1 + R_2/R_1). \qquad (53)$$

Транзисторный регулятор напряжения с коллекторной обратной связью. Принципиальная схема такого регулятора напряжения представлена на рис. 100. Регулятор напряжения содержит фильтр, функции которого выполняет дроссель *L*, измерительное устройство (сопротивления *R1*, *R2*, *R* и стабилитрон *V*) и регулирующее устройство, функции которого выполняет транзисторное реле с коллекторной обратной связью (транзисторы *V1*, *V2*, диод *V3*, сопротивления *R3*, *R4* и $R_{ос}$). Нагрузкой транзисторного реле является обмотка возбуждения генератора *ОВ*, шунтированная диодом *V4*.

В регуляторе напряжения используют кремниевые транзисторы с переходами *n—p—n*. Так как кремниевые транзисторы имеют сравнительно высокое пороговое напряжение $U_{0э}$, то отрицательного смещения на эмиттерном переходе не создают. Для перевода транзистора в состояние отсечки достаточно, чтобы напряжение $U_э = 0$.

Как уже отмечалось, в генераторных установках переменного тока применяют в основном двухполупериодные трехфазные схемы

выпрямления, при этом частота пульсации выпрямленного напряжения

$f_п = 6(pn)/60 = 0{,}1pn.$

Частота пульсации выпрямленного напряжения при максимальной частоте вращения ротора составляет несколько килогерц. Если с такой частотой переключать транзисторы, то велики потери и низка точность регулирования. Поэтому в транзисторных регуляторах напряжения для генераторов переменного тока применяют различные фильтры и регулирование напряжения осуществляют по среднему значению выпрямленного напряжения U_d, а регулятор работает в режиме автоколебаний. Особенностью этого регулятора напряжения является наличие коллекторной обратной связи, образованной посредством сопротивления $R_{ос}$, включенного между коллектором транзистора *V2* и базой транзистора *V1*.

Действие коллекторной обратной связи проявляется следующим образом. При $U_d = U_{ср}$ по цепочке *V—R* протекает ток $I = I_{ст}$ и напряжение на эмиттерном переходе транзистора *V1* достигает порогового напряжения $U_{0э1} = I_{ст}R$. Транзистор *V1* начинает переключаться из состояния отсечки в состояние насыщения, а транзистор *V2* — в состояние отсечки. При этом потенциал коллектора *V2* возрастает, ток, протекающий по цепи $R_{ос}—R$, увеличивается, что приводит к скачкообразному повышению напряжения на эмиттерном переходе транзистора *V1*

$$\overset{\uparrow}{U}_{э1} = (I_{ст} + \overset{\uparrow}{I}_{ос})R$$

и переключению его из состояния отсечки в состояние насыщения. Напряжение $U_{эк1}$ скачкообразно уменьшается.

Чтобы обеспечить состояние отсечки транзистора *V2*, напряжение $U_{эк1}$ к его входу подается через диод *V3*. Если $U_{эк1} = U_{од}$, то напряжение на входе транзистора *V2* равно нулю, транзистор находится в состоянии отсечки.

При $U_d = U_в$ потенциал коллектора и $I_{ос}$ уменьшаются, что приводит к скачкообразному снижению напряжения на эмиттерном переходе транзистора

$$\underset{\downarrow}{U}_{э1} = (I'_{ст} + \underset{\downarrow}{I}_{ос})R$$

и переключению его из состояния насыщения в состояние отсечки.

Транзисторный регулятор напряжения с коллекторной обратной связью относится к I группе, и для него будут справедливы уравнения (49), (50). Напряжение срабатывания и напряжение возврата определяются аналогичным образом. При определении напряжения возврата $U_в$ можно считать, что сопротивление обратной связи $R_{ос}$ подключено к плюсовому зажиму генератора.

При разработке транзисторных регуляторов напряжения необходимо учитывать, что транзисторы имеют сравнительно не-

высокий коэффициент усиления по току и малое входное сопротивление. Для повышения коэффициента усиления по току B и увеличения входного сопротивления применяют составные транзисторы.

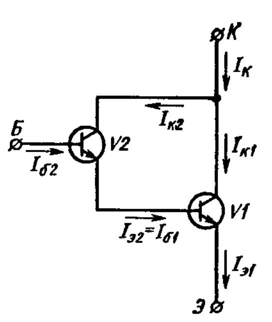


Рис. 101. Схема составного транзистора

В общем случае составной транзистор состоит из нескольких транзисторов. Соединение электродов следующее: эмиттер каждого последующего транзистора соединен с базой предыдущего, а коллекторы всех транзисторов соединены между собой. Эмиттером составного транзистора является эмиттер первого транзистора, а базой — база последнего транзистора. На рис. 101 показано распределение токов в транзисторе, состоящем из двух транзисторов. Коэффициент усиления по току составного транзистора можно выразить

$$B_с = I_к/I_б = (I_{к1} + I_{к2})/I_{б2} = B_1B_2 + B_1 + B_2.$$

Входное сопротивление составного транзистора $r_э = (U_{э1} + U_{э2})/I_{б2}$ также увеличивается. Для обеспечения состояния насыщения первого транзистора в его коллекторную цепь включено сопротивление $R_к$, величина которого должна быть такой, чтобы падение напряжения на этом сопротивлении превышало падение напряжения на втором транзисторе, находящемся в состоянии насыщения, т. е. $I_{к1}R_к > U_{эк2}$. Составной транзистор аналогичен обычному транзистору с повышенным коэффициентом усиления по току.

На рис. 102 приведена схема регулятора напряжения с составным транзистором. Регулятор напряжения имеет две обратные связи: жесткую (эмиттерную) ($R_{ос}$) и гибкую (коллекторную) ($R4$—$C2$). Функции фильтра выполняет емкость $C1$.

Принцип действия этого регулятора подобен принципу действия ранее рассмотренных транзисторных регуляторов напряжения. Применение гибкой обратной связи ускоряет процессы пере-

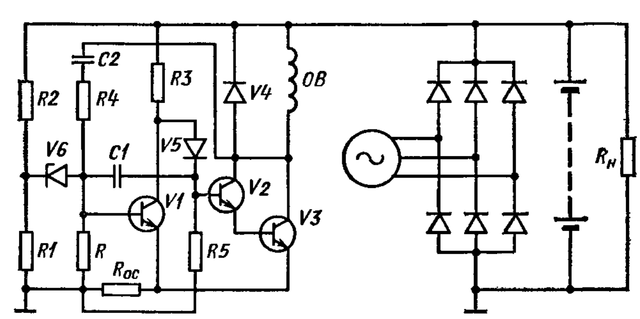


Рис. 102. Принципиальная схема бесконтактного регулятора напряжения с составным транзистором

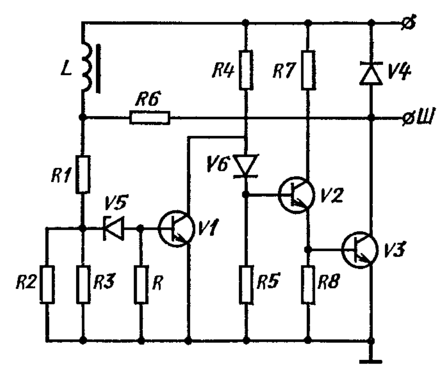


Рис. 103. Регулятор напряжения с каскадным соединением транзисторов

ключения транзисторов. Когда составной транзистор находится в состоянии насыщения, напряжение, приложенное к цепи *R4—C2—R*, мало и по этой цепочке ток не протекает. При переключении составного транзистора из состояния насыщения в состояние отсечки потенциал коллектора транзистора резко возрастает и в цепи *R4—C2* — эмиттерный переход транзистора *V1* возникает импульс тока, форсирующий процесс переключения транзистора *V1*, а, следовательно, и транзистора *V2*. Конденсатор *C2* заряжается.

При переключении транзистора *V2* из состояния отсечки в состояние насыщения заряженный конденсатор *C2* разряжается по цепи $R_{эс}$ — транзистор *V2* — эмиттерный переход транзистора *V1*, создавая импульс базового тока обратной полярности транзистора *V1*. При этом процесс переключения транзистора *V1* из состояния насыщения в состояние отсечки ускоряется.

Регулятор напряжения с составным транзистором относится к I группе. Применение составного транзистора в регуляторе напряжения приводит к повышению начальной частоты вращения n_x, так как падение напряжения на составном транзисторе больше, чем на обычном. Для снижения начальной частоты вращения n_x в регуляторах напряжения применяют каскадное соединение транзисторов (рис. 103).

В схеме использована коллекторная обратная связь посредством сопротивления *R6*. Рассматриваемый регулятор отличается от регулятора, изображенного на рис. 100, тем, что содержит дополнительный транзистор *V2*, т. е. применен дополнительный каскад усиления. При $U_d < U_{ср}$ транзистор *V1* находится в состоянии отсечки, а транзисторы *V2* и *V3* в состоянии насыщения. При $U_d \geqslant U_{ср}$ транзистор *V1* переключается в состояние насыщения, а транзисторы *V2* и *V3* в состояние отсечки.

Тиристорный регулятор напряжения. С точки зрения способа управления тиристором тиристорные регуляторы напряжения можно разделить на управляемые путем регулирования угла включения (с естественной коммутацией) и управляемые путем регулирования относительной длительности включения (с искусственной коммутацией).

На рис. 104 приведена принципиальная схема тиристорного регулятора напряжения с естественной коммутацией.

В этом регуляторе функции регулирующего органа выполняет тиристор *V*, в анодную цепь которого включена обмотка возбу-

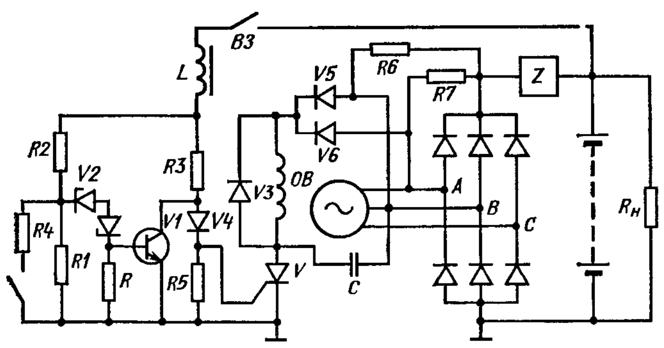


Рис. 104. Принципиальная схема тиристорного регулятора напряжения

ждения генератора *ОВ*. Обмотка возбуждения *ОВ* шунтирована диодом *V3*. Чтобы обеспечить естественную коммутацию, тиристор подключен к генератору через однофазный двухполупериодный выпрямитель. Этот выпрямитель образован двумя диодами выпрямителя генератора и двумя вспомогательными диодами *V5* и *V6*. Для обеспечения возбуждения генератора к обмотке возбуждения генератора подается напряжение аккумуляторной батареи через сопротивления *R6* и *R7*. Для улучшения условий коммутации тиристора применен конденсатор *С*.

Измерительное устройство состоит из усилителя постоянного напряжения на транзисторе *V1* и измерительной цепочки с делителем напряжения и стабилитроном (*R1*, *R4*, *R2*, *R*, *V2*). Дроссель *L* выполняет функции фильтра.

При включении выключателя зажигания *ВЗ* к измерительному устройству подается напряжение аккумуляторной батареи, которое ниже напряжения срабатывания. Транзистор *V1* находится на границе состояния отсечки. По цепи *L—R3—V4—R5* протекает ток, создающий падение напряжения на сопротивлении *R5*, достаточное для переключения тиристора в состояние насыщения. Таким образом, обеспечивается возбуждение генератора. Затем обмотка возбуждения переключается на питание от однофазного мостового выпрямителя.

Когда напряжение генератора достигает напряжения срабатывания $U_{\text{ср}}$, транзистор *V1* переключается в состояние насыщения. Напряжение на управляющем электроде тиристора резко падает, и, когда напряжение на выходе однофазного выпрямителя близко к нулю, тиристор переключается в состояние отсечки. Обмотка возбуждения отключается от источника. Ток в обмотке возбуждения уменьшается. Падает и напряжение генератора. При $U_d = U_{\text{в}}$ транзистор вновь переключается в состояние отсечки, а тиристор в состояние насыщения. Далее процессы повторяются.

Сравнивая тиристорные регуляторы напряжения с транзисторными, можно отметить, что применение тиристоров не упро-

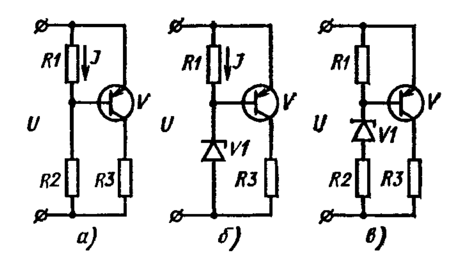


Рис. 105. Принципиальные схемы простейших измерительных устройств бесконтактных регуляторов напряжения:

а — без стабилитрона; б — со стабилитроном; в — со стабилитроном и сопротивлением

щает схему регулятора. Тиристорные регуляторы создают более сложные условия для возбуждения генератора и требуют увеличения объема обмотки возбуждения генератора, так как напряжение питания обмотки возбуждения ниже выпрямленного напряжения генератора U_d.

В автотракторном электрооборудовании тиристорные регуляторы напряжения применяют редко.

Температурная стабильность полупроводниковых регуляторов напряжения. Выше было рассмотрено влияние температуры на параметры и характеристики полупроводниковых приборов. Вопрос о температурной стабильности полупроводниковых регуляторов напряжения является очень важным. Покажем принципиальные возможности решения этого вопроса. Рассмотрим регуляторы напряжения с простейшими измерительными устройствами (рис. 105).

Для измерительной цепочки, изображенной на рис. 105, *а*, уравнения, определяющие напряжение срабатывания реле, принимают вид

$$\left.\begin{aligned} U_{\text{ср}} &= (R_1 + R_2) I; \\ U_{0\text{э}t} &= U_{0\text{э}} - \alpha_{\text{т}}(t - 20) = IR_1. \end{aligned}\right\}$$

Решая эту систему уравнений, находим

$$U_{\text{ср}} = [U_{0\text{э}} - \alpha_{\text{т}}(t - 20)]\,[(R_1 + R_2)/R_1].$$

Продифференцировав уравнение, определяющее напряжение срабатывания в зависимости от температуры, находим, что

$$\frac{dU_{\text{ср}}}{dt} = -\alpha_{\text{т}} \frac{R_1 + R_2}{R_1} < 0.$$

Следовательно, при такой измерительной цепочке добиться полной температурной компенсации невозможно. В рассматриваемом случае с повышением температуры напряжение срабатывания реле уменьшается. Для измерительной цепочки, изображенной на рис. 105, *б*, напряжение срабатывания определяется уравнениями

$$\left.\begin{aligned} U_{\text{ср}} &= U_{\text{ост}} + \alpha_{\text{ст}}(t - 20) + I(r_{\text{ст}} + R_1); \\ U_{0\text{э}} &- \alpha_{\text{т}}(t - 20) = IR_1. \end{aligned}\right\}$$

Решая эту систему уравнений, находим

$$U_{ср} = U_{ост} + \alpha_{ст}(t - 20) + [U_{0э} - \alpha_{т}(t - 20)][(r_{ст} + R_1)/R_1].$$

Продифференцировав это уравнение по температуре, находим, что

$$\frac{dU_{ср}}{dt} = \alpha_{ст} - \alpha_{т}\frac{r_{ст} + R_1}{R_1} > 0,$$

так как

$$\alpha_{ст} > \alpha_{т} \text{ и } r_{ст} \ll R_1.$$

При такой измерительной цепочке с повышением температуры напряжение срабатывания $U_{ср}$ увеличивается. Для измерительной цепочки (рис. 105, *в*) напряжение срабатывания определяется уравнениями

$$\left.\begin{aligned} U_{ср} &= U_{ост} + \alpha_{ст}(t - 20) + I(r_{ст} + R_1 + R_2); \\ U_{0э} &- \alpha_{т}(t - 20) = IR_1. \end{aligned}\right\}$$

При такой измерительной цепочке напряжение срабатывания равно

$$U_{ср} = U_{ост} + \alpha_{ст}(t - 20) + [U_{0э} - \alpha_{т}(t - 20)][(r_{ст} + R_1 + R_2)/R_1].$$

Продифференцировав это уравнение по температуре, находим, что

$$\frac{dU_{ср}}{dt} = \alpha_{ст} - \alpha_{т}[(r_{ст} + R_1 + R_2)/R_1].$$

Очевидно, что при соответствующем соотношении сопротивлений *R1* и *R2* можно осуществить полную температурную компенсацию, т. е. с изменением температуры окружающей среды напряжение срабатывания не изменяется.

Итак, в полупроводниковых регуляторах напряжения путем подбора параметров измерительной цепочки можно обеспечить не только температурную стабильность регулируемого напряжения, но и создать регуляторы с направленным регулированием напряжения по температуре.

Для расчета температурной стабильности или направленности регулирования напряжения необходимо в уравнениях, определяющих напряжение срабатывания $U_{ср}$ и напряжение возврата $U_{в}$, выразить параметры полупроводниковых приборов с учетом температуры. Затем выражение, определяющее среднее значение напряжения,

$$\frac{dU_{г.ср}}{dt} = \frac{1}{2}\left(\frac{dU_{ср}}{dt} + \frac{dU_{в}}{dt}\right)$$

необходимо продифференцировать по температуре и произвести анализ производной.

Если $\frac{dU_{г.ср}}{dt} < 0$, регулируемое напряжение уменьшается с повышением температуры. При $dU_{г.ср}/dt = 0$ регулируемое напряжение остается неизменным при изменении температуры

окружающей среды. Если $dU_{г.\,ср}/dt > 0$, регулируемое напряжение возрастает с повышением температуры.

Для систем электропитания автомобилей и тракторов с целью повышения срока службы аккумуляторных батарей $dU_{г.\,ср}/dt = -(0{,}006 \div 0{,}012)$ В/°С, т. е. с увеличением температуры уровень регулируемого напряжения должен падать.

Для получения направленного регулирования в измерительное устройство включают терморезистор, сопротивление которого зависит от температуры

$$R_t = Ae^{B/T},$$

где A — постоянная, зависящая от размеров и формы термосопротивления;

B — постоянная, зависящая от физических свойств полупроводника;

T — температура, °К.

Температурный коэффициент такого терморезистора отрицательный и в несколько раз больше температурного коэффициента металлов. Если вместо одного из сопротивлений делителя в измерительную цепочку включить компенсатор, состоящий из параллельно соединенных термосопротивлений и сопротивления с очень малым температурным коэффициентом (манганин, константан), то можно осуществить направленное регулирование напряжения генератора с необходимыми количественными изменениями.

Величина сопротивления компенсатора

$$R_{тк} = \left(Ae^{\frac{B}{T}} R_1\right) \Big/ \left(Ae^{\frac{B}{T}} + R_1\right).$$

Путем подбора параметров компенсатора (A, B, R_1) можно получить необходимые количественные изменения регулируемого напряжения в зависимости от изменения температуры окружающей среды.

§ 19. Конструкция вибрационных регуляторов напряжения и тока

При проектировании вибрационных регуляторов напряжения и тока, как и других устройств электрооборудования автомобилей и тракторов, важнейшими требованиями являются высокая надежность, большой срок службы, минимальная стоимость, малая масса, технологичность конструкции.

Вибрационные регуляторы напряжения и тока обычно размещены в коробках, устанавливаемых отдельно от генератора. Коробку с вибрационными регуляторами принято называть реле-регулятором. Реле-регуляторы подразделяют на одно-, двух- и трехэлементные. При небольших габаритных размерах одно- или двухэлементные реле-регуляторы могут быть установлены

непосредственно на генераторе или встроены в крышку генератора.

Для уменьшения влияния вибрации на работу реле-регулятора применяют амортизаторы в виде резиновых втулок или подушек. С этой же целью якоря реле должны быть расположены в вертикальной плоскости.

Регулятор Р127 является простейшим и содержит только вибрационный регулятор напряжения (рис. 106). Он применяется для вентильного генератора, токоскоростная характеристика которого имеет самоограничение, и, следовательно, нет необходимости в установке ограничителя тока. Функции реле обратного тока выполняют полупроводниковые вентили выпрямителя.

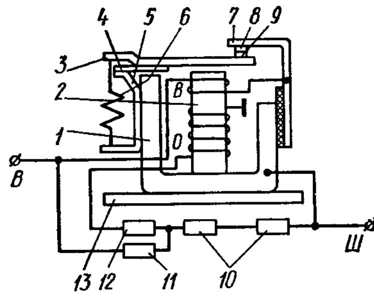


Рис. 106. Реле-регулятор Р127:

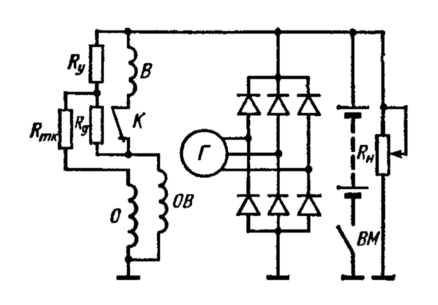
1 — ярмо реле; *2* — сердечник; *3* — якорь; *4* — термобиметаллическая пластина; *5* — уголок; *6* — пружина; *7* — стойка; *8* — неподвижный контакт; *9* — подвижный контакт; *10* — добавочное сопротивление; *11* — сопротивление; *12* — сопротивление термокомпенсации; *13* — плата

Основу реле-регулятора составляет электромагнитное реле клапанного типа с П-образным ярмом *1* и цилиндрическим сердечником *2* с подвеской плоского якоря *3* при помощи термобиметаллической пластины *4* (инвар—латунь). Инвар обладает малым температурным коэффициентом линейного расширения (10^{-10} 1/°С) и образует термоинертную компоненту биметаллической пластины. Латунь, хромоникелевая или молибденовая сталь обладают большим температурным коэффициентом линейного расширения (от 17 до 20 1/°С) и образуют активную компоненту пластины.

Термобиметаллическая пластина *4* одним концом прикреплена активной стороной к якорю реле *3*, а другим при помощи заклепок и уголка *5* — к ярму. При повышении температуры окружающей среды термобиметаллическая пластина деформируется, стремясь изогнуться в сторону сердечника. Так как конец пластины прикреплен к якорю реле, на якорь действует сила, направленная к сердечнику реле. Эта сила направлена навстречу силе пружины *6*. С увеличением температуры суммарная сила уменьшается, компенсируя действия, связанные с повышением сопротивления основной обмотки управления реле.

Магнитопровод реле выполнен из электротехнической стали Э (армко). На стойке *7*, прикрепленной к ярму, устанавливается неподвижный контакт *8*. Подвижный контакт *9* укреплен на якоре. Оба контакта изготовлены из вольфрама. Контакты в замкнутом состоянии удерживаются винтовой пружиной *6*, которая одним концом подсоединена к якорю, а другим — к стойке ярма.

На сердечнике реле размещены обмотки управления (основная *О* и выравнивающая *В*).



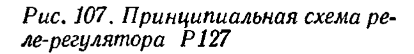


Рис. 107. Принципиальная схема реле-регулятора Р127

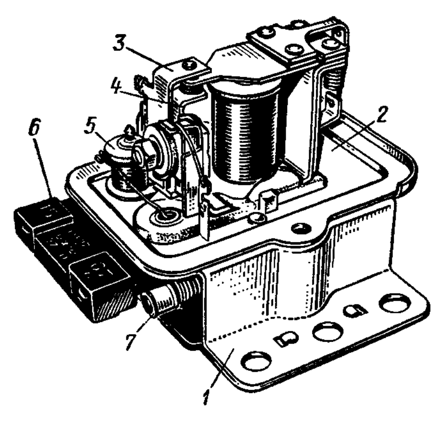


Рис. 108. Конструктивная схема реле-регулятора РР380:

1 — корпус реле-регулятора; *2* — изоляционная прокладка; *3*, *4* — стойки контактов; *5* — дроссель; *6* — штекерный разъем; *7* — клемма для соединения с массой

Кроме электромагнитного реле регулятор содержит четыре сопротивления: ускоряющее *11*, для термокомпенсации *10* (из нихрома), два добавочных *12*, соединенных последовательно.

По конструктивно-технологическим признакам реле-регулятор Р127 можно отнести к блокам с объемным монтажом и навесными электрическими элементами. Все элементы реле-регулятора размещены на плате *13*, выполненной из электроизоляционного материала. Плата прикреплена к стойкам корпуса реле-регулятора, в котором размещены выводные клеммы (плюсовая — для соединения с плюсовым зажимом генератора; «Ш» — для присоединения обмотки возбуждения генератора). Корпус реле-регулятора надежно соединен с массой при помощи специального провода.

Электрическая схема реле-регулятора Р127 с генератором приведена на рис. 107. Регулятор напряжения выполнен по схеме ускоряющее сопротивление — выравнивающая обмотка. Для повышения эффективности действия выравнивающей обмотки она подключена в цепь возбуждения перед контактами электромагнитного реле.

Реле-регулятор РР380 (рис. 108) является также простейшим и содержит только один вибрационный регулятор напряжения. Он применяется в системе электрооборудования автомобилей ВАЗ.

В отличие от РР127 регулятор напряжения РР380 является двухступенчатым, т. е. имеет две пары контактов. Подвижные контакты расположены на якорьке, а неподвижные — на двух контактных стойках *3* и *4*, прикрепленных винтами к ярму реле. Вибрационный регулятор имеет одну основную обмотку и вместе с дросселем *5* установлен на изоляционной прокладке *2*, которая монтируется на штампованном стальном основании *1*. Под основа-

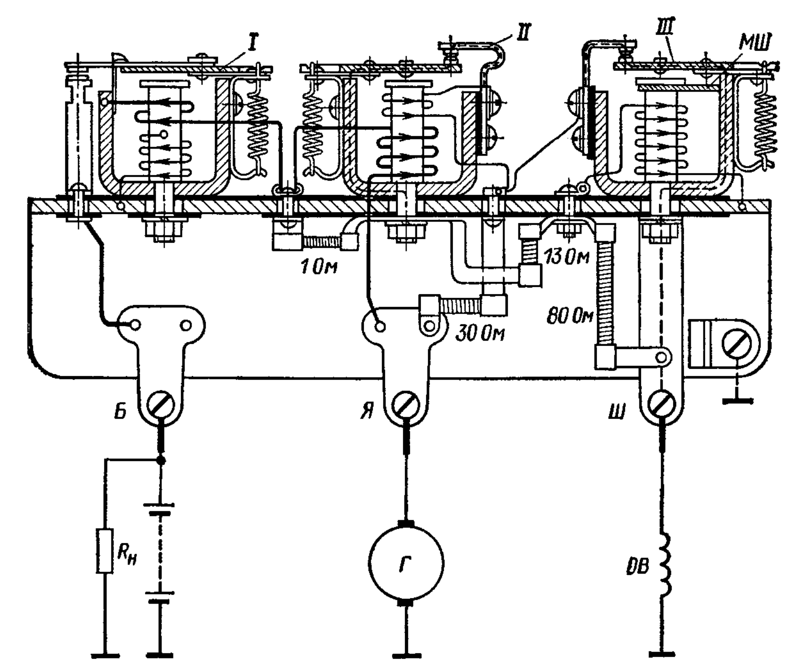


Рис. 109. Конструктивная схема и схема включения реле-регулятора РР24:
I — реле обратного тока; *II* — ограничитель тока; *III* — регулятор напряжения

нием размещены термокомпенсирующее сопротивление $R_{тк}$ и два добавочных сопротивления, соединенных параллельно.

Реле-регулятор имеет штекерный разъем *6* с двумя клеммами: одна клемма — для соединения с обмоткой возбуждения генератора, другая — для соединения с выключателем зажигания. Третья клемма *7* предназначена для соединения с корпусом генератора (массой).

Для уменьшения разрывной мощности контактов первой ступени последовательно с добавочным сопротивлением $R_{д}$ включен дроссель *5*. При размыкании контактов первой ступени часть энергии накапливается в магнитном поле дросселя. Обмотка дросселя наматывается на сердечник с разомкнутым магнитопроводом.

Работа двухступенчатого регулятора напряжения описана выше.

Реле-регулятор РР24 является базовым и применяется в системах электрооборудования автомобилей и тракторов с генераторами постоянного тока (рис. 109). РР24 — трехэлементный реле-регулятор имеет вибрационный регулятор напряжения, ограничитель тока и реле обратного тока.

Вибрационный регулятор напряжения принципиально отличается от ранее рассмотренных типов, так как для термокомпенсации применен термомагнитный шунт *МШ*, который представ-

ляет собой пластину из железоникельалюминиевого сплава, установленную параллельно якорю (между сердечником и ярмом). Регулятор выполнен по схеме ускоряющее сопротивление — выравнивающее сопротивление. Поэтому на сердечнике размещена только одна основная обмотка. Ускоряющее, выравнивающее и добавочное сопротивления выполнены из нихромовой проволоки, намотанной на каркас из стекловолокна. Эти сопротивления размещены в основании реле-регулятора.

Ограничитель тока по конструкции аналогичен регулятору напряжения. Он отличается тем, что на сердечник ограничителя тока намотаны две обмотки — последовательная и ускоряющая. Контакты ограничителя тока шунтированы добавочным сопротивлением.

В регуляторе напряжения и ограничителе тока воздушный зазор между якорьком и сердечником регулируется посредством перемещения стойки неподвижного контакта. Для регулирования натяжения пружины ее кронштейн подгибают.

Реле обратного тока — электромагнитное реле с мягким креплением подвижного контакта. В таком реле подвижный контакт крепится на упругой пластине, прикрепленной к якорю. При этом якорь притягивается до упора в немагнитную заклепку на сердечнике, а пластина, прогибаясь, создает добавочное усилие. Таким образом, обеспечивается неизменность воздушного зазора при замкнутых контактах реле.

В реле обратного тока необходимо регулировать напряжение, при котором контакты замыкаются, и обратный ток, при котором контакты размыкаются. Величину обратного тока регулируют путем изменения натяжения пружины, а напряжение замыкания — воздушного зазора между сердечником и якорем реле. По конструктивно-технологическим признакам реле-регулятор РР24 можно также отнести к блокам с объемным монтажом и навесными электрическими элементами.

При самовозбуждении генератора (см. рис. 109) контакты регулятора напряжения и ограничителя тока замкнуты, а контакты реле обратного тока разомкнуты. ЭДС генератора от остаточного магнитного потока через последовательную обмотку ограничителя, выравнивающее сопротивление, замкнутые контакты ограничителя тока, его ускоряющую обмотку и замкнутые контакты регулятора напряжения приложена к обмотке возбуждения генератора. По обмотке возбуждения протекает ток, и генератор самовозбуждается. Одновременно через последовательную обмотку ограничителя тока и последовательную обмотку реле обратного тока напряжение генератора приложено к основной обмотке реле обратного тока.

Как только напряжение генератора достигнет 12,5—13,5 В, контакты реле обратного тока замыкаются и генератор подключается к сети. Ток нагрузки, протекающий по последовательной обмотке реле обратного тока, обеспечивает надежное замыкание

контактов. Когда напряжение генератора равно напряжению срабатывания регулятора напряжения, его контакты размыкаются, в цепь возбуждения включаются ускоряющее и добавочное сопротивления.

Когда размыкаются контакты ограничителя тока, в цепь возбуждения включается добавочное сопротивление ограничителя тока. Одновременно последовательно с ускоряющей обмоткой включаются ускоряющее и добавочное сопротивления регулятора напряжения, и ток в этой обмотке уменьшается, следовательно, ускоряется замыкание контактов ограничителя тока.

§ 20. Конструкция и основы расчета полупроводниковых регуляторов напряжения

При проектировании полупроводниковых регуляторов напряжения необходимо учитывать специфику полупроводниковых приборов и современные достижения в области полупроводниковой техники, связанные с разработкой новейшей технологии — технологии интегральных схем. Для полупроводниковых регуляторов напряжения конструкция и технология тесно связаны.

Характерной конструктивной особенностью электроники является блочный принцип. Такое конструктивное оформление открывает широкие возможности для унификации и стандартизации элементов, что позволяет применять в производстве прогрессивные методы обработки, сборки, монтажа с использованием высокопроизводительного автоматизированного оборудования.

По конструктивно-технологическим признакам полупроводниковые регуляторы напряжения относятся к блокам со смешанным монтажом и навесными электрическими элементами. Монтаж платы — печатный, внутриблочный монтаж — объемный. Полупроводниковые регуляторы напряжения размещены в коробках, устанавливаемых или отдельно от генератора, или непосредственно на нем. Эти регуляторы по аналогии с вибрационными называют также реле-регуляторами.

Особенности конструкции полупроводниковых регуляторов напряжения можно показать на примере регулятора PP132. Этот регулятор напряжения применяется для вентильных генераторах (рис. 110).

Блок регулятора напряжения установлен в корпусе из цинкового сплава. В корпусе имеются выводы для подключения к обмотке возбуждения генератора и к плюсу выпрямленного напряжения генератора (через выключатель зажигания). Корпус регулятора напряжения связан с массой. Блок состоит из двух сборок: печатной платы *1* с навесными электрическими элементами и теплоотвода *13*, на котором установлены транзисторы.

Основу печатной платы (рис. 111) составляет стеклотекстолит электротехнический листовой или фольгированный стеклотексто-

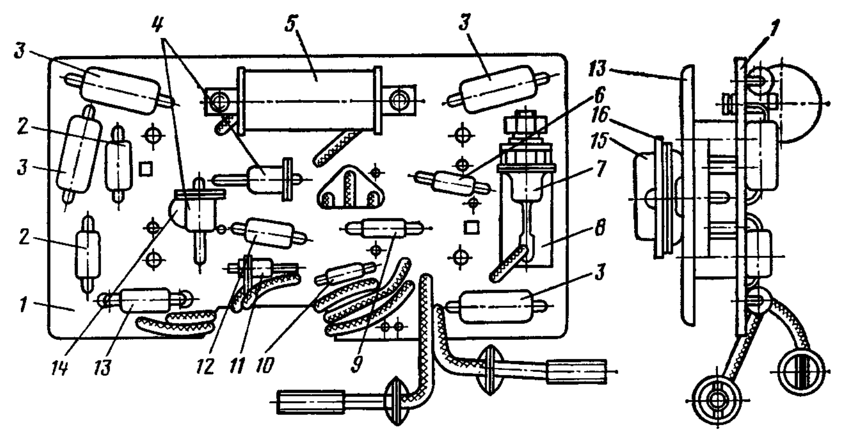


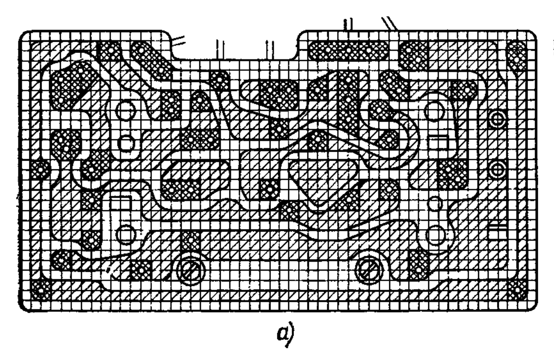
Рис. 110. Конструктивная схема блока регулятора напряжения РР132:

1 — печатная плата; *2* — сопротивление *R1*; *3* — сопротивление *R3*; *4* — диоды; *5* — дроссель; *6* — сопротивление *R2*; *7* — диод, *8* — радиатор диода; шунтирующий обмотку возбуждения; *9* — сопротивление *R4*; *10* — сопротивление *R*; *11* — стабилитрон; *12* — сопротивление $R_{ос}$; *13* — теплоотвод силового транзистора; *14* — транзистор *V1*; *15* — транзистор *V2*; *16* — планка для крепления транзистора

лит — материал, облицованный с одной или двух сторон красномедной электротехнической фольгой толщиной 0,035 или 0,05 мм. На поверхность этого основания наносят печатный монтаж (рис. 111, *а*), выполняющий функции монтажных проводов, разъемов и контактных деталей. Крепление элементов на печатной плате показано на рис. 111, *б*.

Следует отметить, что метод изготовления печатных плат определяется различными факторами (материалом оснований, способами создания проводящих покрытий и нанесения изображения и др.). Наибольшее распространение в производстве получили электрохимический, химический и комбинированный методы.

Электрохимический метод — гальваническое осаждение металла на диэлектрик с металлизацией отверстий. Основным преимуществом этого метода является возможность выполнения ме-



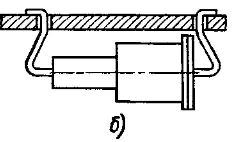


Рис. 111. Печатная плата:

а — печатный монтаж; *б* — крепление элементов (диода) на печатной плате

таллизации отверстий одновременно с образованием проводников. Химический метод — травление фольгированного диэлектрика без металлизации отверстий. Этот метод требует дополнительной операции по металлизации отверстий. Комбинированный метод — травление фольгированного диэлектрика с металлизацией отверстий. Недостатком метода является увеличение трудоемкости технологического процесса. Сравнивая перечисленные методы с точки зрения конструирования изделия, необходимо отметить, что различия заключаются в возможности размещения печатного монтажа с одной или двух сторон и в плотности печатного монтажа.

Печатный узел регулятора напряжения РР132 представляет собой печатную плату с печатным монтажом и навесными элементами, соответствующими электрической схеме, представленной на рис. 100 (за исключением транзисторов *V1* и *V2*). Навесные элементы (сопротивления, стабилитрон, диод, дроссель) размещены параллельно к поверхности платы со стороны, противоположной размещению печатных проводников. Диод, шунтирующий обмотку возбуждения, установлен на алюминиевом радиаторе, изготовленном в виде уголка. Четыре резистора *3* (сопротивления), соединенные параллельно, являются нагрузкой транзистора *V1*. Два диода *4*, соединенные последовательно, выполняют функции обеспечения состояния отсечки транзистора *V2*. Сопротивление обратной связи подключено не к базовому электроду транзистора *V1*, а между дросселем *L* и сопротивлением *R2*.

Другой сборкой является теплоотвод с двумя транзисторами. Силовой транзистор *15* к радиатору теплоотвода крепится посредством металлической планки и изолирован от теплоотвода при помощи слюдяной прокладки. Электроды транзистора изолированы от теплоотвода посредством изоляционной колодки, приклеенной к теплоотводу. В изоляционной колодке установлен транзистор *V1*.

При установке навесных элементов на печатную плату руководствуются следующими положениями:

установка элементов должна предусматривать доступ к любому элементу и легкую замену их, а также возможность ручной или механизированной установки, пайки и последующей защиты лаковыми покрытиями;

размещение элементов должно быть параллельно поверхности платы со стороны, противоположной размещению печатных проводников.

Интегральные регуляторы напряжения Я-112 и Я-120, предназначены для регулирования напряжения вентильных генераторов. Принципиальная схема интегрального регулятора напряжения (ИРН) Я-112 приведена на рис. 102.

По конструктивно-технологическим признакам этот регулятор можно назвать гибридным. Регулятор (рис. 112) имеет дискретные элементы, толстопленочные и монолитные схемы. Дискретными элементами являются стабилитрон *V6*, диод *V5*, транзистор *V1*

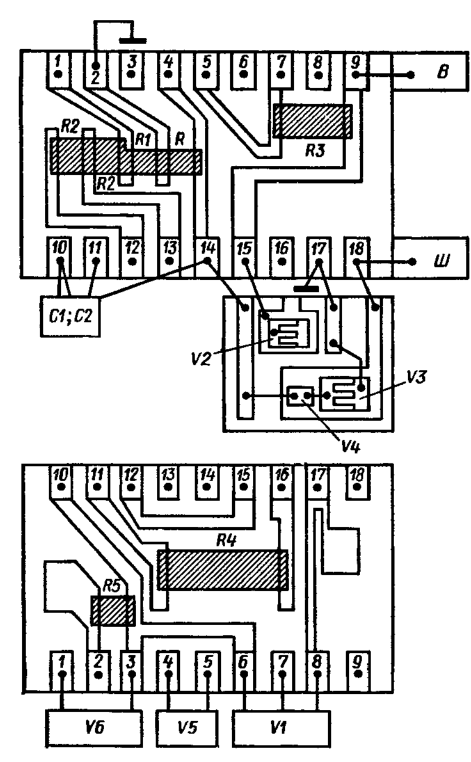


Рис. 112. Конструктивная схема интегрального регулятора напряжения

и конденсаторы *C1*, *C2*. Сопротивления (резисторы) *R1*, *R2*, *R*, *R4*, *R3*, *R5* и их соединения выполнены в виде толстых пленок, осажденных на общей подложке из керамики. Составной транзистор (*V2* и *V3*) вместе с диодом *V4*, шунтирующим обмотку возбуждения, выполнены по монолитной технологии. Их основу составляет подложка из керамики, на которой расположены области различной проводимости.

Элементы интегрального регулятора напряжения (дискретные элементы, толстопленочная и монолитная схемы) установлены на металлическом основании. К металлическому основанию приклеены две фольгированные стеклотекстолитовые пластинки, являющиеся выводами, к которым подключаются вывод Ш обмотки возбуждения и вывод В. Интегральный регулятор напряжения закрыт крышкой.

Расчет полупроводниковых регуляторов напряжения заключается в выборе элементов и определении их параметров, расчете характеристик полупроводникового реле и термокомпенсации, расчете качества регулирования.

Исходными данными для расчета полупроводникового регулятора напряжения являются данные о генераторе, условия эксплуатации и требования к качеству регулируемого напряжения.

Выбор принципиальной схемы производят на основе анализа исходных данных, существующих схем и учета принципиальных возможностей построения регуляторов напряжения, достижений в области полупроводниковой техники. В ходе выполнения расчетов возможно уточнение принципиальной схемы регулятора напряжения. Выбор основных элементов регулятора напряжения осуществляют следующим образом (на примере регулятора напряжения, представленного на рис. 100).

Определяют максимальный ток возбуждения генератора

$I_{\text{в max}} = U_{\text{н}}/R_{\text{в}} = U_{\text{г. ср}}/R_{\text{в}}$.

Подбирают силовой транзистор $V2$ с параметрами

$I_{\text{к max}} \geqslant (1{,}5 - 2) I_{\text{в max}}$;

$U_{\text{эк max}} \geqslant (2 - 3) U_{\text{и}}$.

Записав данные о выбранном транзисторе, производят аппроксимацию входной характеристики, определив $U_{\text{оэ}}$ и $r_{\text{э}}$.

Затем определяют максимальный ток базы силового транзистора

$I_{\text{б2}} = I_{\text{в max}} H_2 / B_2$,

где H_2 — степень насыщения транзистора $V2$, равная 1,5—2.

Если $I_{\text{б2}} > 0{,}2$ А, целесообразно применить составной транзистор, выбор которого осуществляется по такой же методике.

Подбирают диод, шунтирующий обмотку возбуждения с параметрами

$I_{\text{п}} \geqslant 0{,}25 I_{\text{г max}}$;

$U_{\text{обр}} \geqslant (2 \div 3) U_{\text{и}}$.

Определяют величину сопротивления

$R_3 \leqslant U_{\text{и}} / I_{\text{б2}}$

и мощность рассеяния

$P_3 = I_{\text{б2}}^2 R_2$,

по которым выбирают тип сопротивления.

Подбирают транзистор $V1$ с параметрами

$I_{\text{к max}} \geqslant (1{,}5 \div 2) I_{\text{б2}}$;

$U_{\text{эк max}} \geqslant (2 \div 3) U_{\text{и}}$.

Записав данные о транзисторе, производят аппроксимацию входной характеристики, определив $U_{\text{оэ}}$ и $r_{\text{э}}$.

Затем подбирают диод в цепи смещения силового транзистора с параметрами

$I_{\text{п}} \geqslant (1{,}5 \div 2) I_{\text{б2}}$;

$U_{\text{пр}} \geqslant U_{\text{оэ1}}$.

Производят аппроксимацию вольт-амперной характеристики диода, определив $U_{\text{од}}$ и $R_{\text{д}}$.

Определяют величину сопротивления, создающего смещение на силовом транзисторе $R_4 \leqslant U_{\text{оэ2}} / I_{\text{к02}}$, и ток базы первого транзистора $V1$

$I_{\text{б1}} = I_{\text{б2}} H_1 / B_1$,

где H_1 — степень насыщения транзистора $V1$, равная 2—3.

Подбирают стабилитрон с параметрами

$U_{\text{ст}} = (0{,}5 \div 0{,}7) U_{\text{и}}$.

Записав данные о стабилитроне, производят аппроксимацию вольт-амперной характеристики, определив $U_{ост}$ и $r_{ст}$.

Затем определяют величину сопротивления R; $R < U_{оэ1}/I_{к01}$ и сопротивлений R_1 и R_2 решением системы уравнений

$U_и = (1 + R_1/R_2)\, U_{ост}$;

$U_и = (3 \div 5)\,(R_1 + R_2)\, I_{б1}$.

Сопротивление обратной связи

$R_{ос} \geqslant (U_и - U_{оэ1})\, R/U_{оэ1}$.

Производят расчет фильтра (дросселя). Для транзисторных регуляторов напряжения расчет фильтра можно производить по первой гармонике выпрямленного напряжения при минимальной частоте вращения ротора генератора

$\omega = 2\pi f_x = (4\pi m p n_x)/60$.

Фильтр должен иметь коэффициент сглаживания

$q_с > U_{1m}/\Delta U_г$,

где U_{1m} — амплитуда напряжения первой гармоники на входе фильтра;

$\Delta U_г$ — пульсация регулируемого напряжения относительно среднего значения.

Затем определяют параметры транзисторного реле $U_{ср}$ и $U_в$ по методике, изложенной ранее.

Если параметры транзисторного реле не соответствуют требованиям качества регулируемого напряжения, уточняют сопротивления делителя напряжения и обратной связи ($R1$, $R2$, $R_{ос}$).

Определяют температурную стабильность параметров транзисторного реле, производят ее коррекцию, окончательный выбор элементов с учетом мощности, рассеиваемой каждым элементом, и частоты переключений транзисторов.

Для транзисторных регуляторов напряжения I группы частоту переключений можно определять графоаналитическим способом, суть которого состоит в следующем (рис. 113).

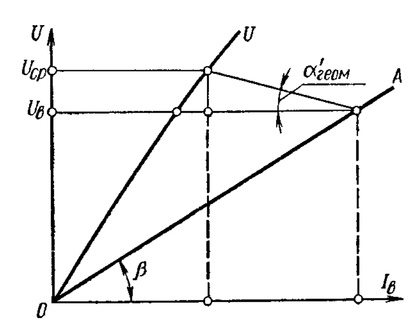


Рис. 113. Определение частоты переключения реле

1. Строят характеристику генератора $U = f(I_в)$ при $n = \text{const}$ и $I = \text{const}$.

2. Из начала координат проводят прямую OA под углом $\beta = \text{arctg}\, R_в$.

3. Проводят прямые $U = U_{ср}$ и $U = U_в$.

4. Из точки пересечения OA и $U = U_в$ проводят два луча в точки пересечения характеристики холостого хода $U = f(I_в)$

с прямыми $U_{ср}$ и $U_в$ и измеряют угол между проведенными лучами α.

5. Определяют время импульса

$$t_1 = k\,(m_u/m_i)\,\mathrm{tg}\,\alpha'_{геом}.$$

Построив характеристики генератора для ряда значений n и $I_г$, можно построить графики $t_1 = f(n)$ при $I_г = \mathrm{const}$.

Используя уравнение (49), определяют зависимость $\gamma = f(n)$.

6. Определяют частоту переключений

$$f = 1/T = \gamma/t_1.$$

Минимальная частота переключений имеет место при $I_г = I_н$ и $n = n_н$, а максимальная при $I_г = 0$ и $n = n_{max}$.

Оптимальной считают частоту переключений 50—300 Гц.

Глава V. СИСТЕМЫ ЗАЖИГАНИЯ

§ 21. Общие сведения о системах зажигания

Система зажигания предназначена для воспламенения топливной смеси при пуске и работе карбюраторного двигателя. От нее в значительной мере зависят надежность пуска и топливная экономичность двигателя. Из известных способов воспламенения топливных смесей самое широкое распространение получило электрическое зажигание.

По принципу действия и виду разряда электрические системы зажигания делят на следующие: накального действия; искровые; электродуговые; комбинированные (искродуговые); поверхностного разряда.

В автотракторном электрооборудовании применяют систему зажигания от магнето и батарейную систему зажигания с искрой высокого напряжения (рис. 114). Искра, воспламеняющая топливную смесь, возникает между электродами свечи зажигания, расположенными в цилиндре двигателя. Источником тока высокого напряжения является индукционная катушка зажигания.

Магнетная система зажигания принципиально отличается от батарейной тем, что источником электроэнергии является магнитоэлектрический генератор, конструктивно объединенный с индукционной катушкой. В батарейной системе зажигания источником электроэнергии является аккумуляторная батарея (при пуске двигателя) и генератор.

Батарейная и магнетная системы зажигания имеют много общего с точки зрения принципов их действия, которые можно рассмотреть на примере работы батарейной системы зажигания.

Катушка зажигания *К* представляет собой трансформатор. На сердечник, набранный из пластин трансформаторной стали, намотаны две обмотки: первичная *W1* с небольшим числом витков и сопротивлением и вторичная *W2*, имеющая большое число витков и сопротивление. Отношение числа витков $w_2/w_1 = k_т \gg 1$ принято называть коэффициентом трансформации катушки зажигания. Обмотки катушки зажигания могут иметь как автотрансформаторную (с общей точкой), так и трансформаторную связь. Автотрансформаторная связь упрощает конструкцию и техноло-

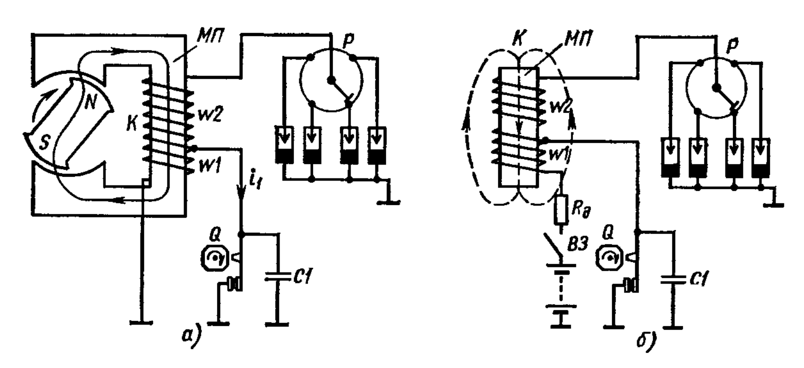


Рис. 114. Электрические схемы системы зажигания:

а — магнетной; *б* — батарейной; (*МП* — магнитопровод; *Р* — распределитель; *Q* — прерыватель; *К* — катушка зажигания; *ВЗ* — выключатель зажигания; *С1* — первичный конденсатор; $R_д$ — добавочное сопротивление; *W1*, *W2* — обмотки, соответственно первичная и вторичная

гию изготовления катушки, а также незначительно увеличивает вторичное напряжение.

Кулачок прерывателя Q и ротор распределителя P установлены на общем валу, вращающемся от распределительного вала двигателя, который имеет частоту вращения вдвое меньшую, чем коленчатый вал. С помощью кулачка прерывателя обеспечивается, во-первых, размыкание контактов прерывателя, а во-вторых, точное распределение времени зажигания.

Период работы прерывателя, включает время нахождения контактов в замкнутом и разомкнутом состояниях,

$$T = \frac{120}{Zn_д},$$

где Z — число цилиндров двигателя;

$n_д$ — частота вращения коленчатого вала двигателя.

Время нахождения контактов прерывателя в замкнутом состоянии зависит от профиля кулачка и составляет некоторую часть периода работы прерывателя

$$t_з = \gamma_з T.$$

Относительное время нахождения контактов в замкнутом состоянии

$$\gamma_з = \frac{t_з}{t_з + t_р} = \frac{\alpha_з}{\alpha_з + \alpha_р} = (0{,}6 \div 0{,}7),$$

где $t_р$ — время нахождения контактов прерывателя в разомкнутом состоянии;

$\alpha_з$ и $\alpha_р$ — соответственно углы замкнутого и разомкнутого состояния контактов.

Для уменьшения искрения на контактах параллельно контактам прерывателя подключен конденсатор. Высоковольтный рас-

пределитель имеет неподвижные электроды, установленные в крышке распределителя, и вращающийся электрод, соединенный с вторичной обмоткой катушки зажигания. Число неподвижных электродов распределителя равно числу цилиндров двигателя, и каждый электрод соединен проводом с соответствующей свечой.

Питание системы зажигания осуществляется через выключатель зажигания ВЗ. Для улучшения зажигания при пуске двигателя последовательно с первичной обмоткой катушки зажигания включают добавочное сопротивление $R_д$.

Система зажигания работает следующим образом. При включении стартера или работе двигателя кулачок прерывателя, вращаясь, попеременно замыкает и размыкает контакты прерывателя. При замыкании контактов прерывателя первичная обмотка $W1$ катушки зажигания подключается к аккумуляторной батарее, по ней протекает ток, и образуется магнитное поле. К моменту размыкания контактов прерывателя в магнитном поле накапливается энергия

$$W_м = \frac{I_р^2 L_1}{2},$$

где $I_р$ — первичный ток в момент размыкания контактов;
L_1 — индуктивность первичной обмотки катушки зажигания.

При размыкании контактов прерывателя первичная обмотка отключается от аккумуляторной батареи. Энергия, накопленная в магнитном поле, преобразуется в электрическую, при этом в обмотках катушки зажигания индуцируются ЭДС

$$e_1 = -L_1 \frac{di_1}{dt}$$

и

$$e_2 = e_1 k_т.$$

Так как коэффициент трансформации катушки зажигания велик, то и ЭДС вторичной обмотки достигает величины, достаточной для пробоя искрового промежутка между электродами свечи. Приложенное к электродам напряжение должно превышать так называемое пробивное напряжение $U_{пр}$ (минимально необходимое для электрического пробоя искрового промежутка свечи).

Величина пробивного напряжения зависит от многих факторов. По закону Пашена пробивное напряжение пропорционально давлению в цилиндре двигателя, расстоянию между электродами свечи и обратно пропорционально температуре топливной смеси. Кроме того, оно зависит от состава топливной смеси, материала, формы и температуры электродов свечи, полярности приложенного напряжения и др. Многие из перечисленных факторов связаны непосредственно с режимом работы двигателя (частотой вращения коленчатого вала, нагрузкой).

На рис. 115 приведены зависимости пробивного напряжения от частоты вращения двигателя. Наиболее неблагоприятными режимами работы двигателя для системы зажигания с точки зрения

пробивных напряжений являются режимы пуска и малых частот вращения коленчатого вала, а также режим разгона двигателя.

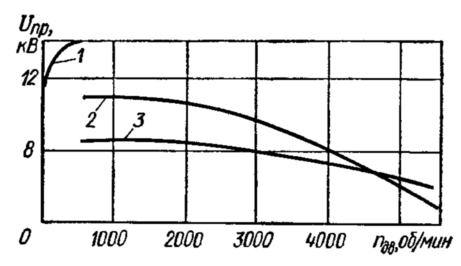


Рис. 115. Зависимости пробивного напряжения $U_{пр}$ от частоты вращения двигателя $n_{дв}$.

1 — пуск; 2 — разгон; 3 — установившийся режим при максимальной мощности

Развитие карбюраторных двигателей происходит в направлении увеличения степени сжатия, повышения частоты вращения коленчатого вала, внедрения многоцилиндровых двигателей, повышения экономичности, которое связано с необходимостью применения обедненных топливных смесей. Надежное воспламенение обедненных смесей обычно обеспечивают увеличением искрового промежутка между электродами свечи. Все перечисленное приводит к повышению пробивного напряжения свечи.

Чтобы топливная смесь воспламенилась, искра должна иметь определенную энергию. Минимально необходимое для воспламенения смеси количество энергии, так же как и пробивное напряжение, зависит от состава смеси, степени сжатия двигателя, зазора между электродами свечи и соответствует несколько обогащенной смеси (коэффициент избытка воздуха $\alpha < 1$). С увеличением степени сжатия энергия, необходимая для воспламенения смеси, уменьшается. При оптимальном значении коэффициента избытка воздуха для воспламенения топливной смеси необходима энергия порядка десятых долей МДж. Однако, учитывая значительное изменение α, а также требования стабильного зажигания и холодного пуска двигателя, энергия искры должна значительно превышать приведенную величину и быть не менее 15—30 МДж. Энергия искры современных систем зажигания составляет 20—100 МДж.

Повышение надежности системы зажигания автомобиля неразрывно связано с созданием необходимого запаса вторичного напряжения $U_{2м}$, который оценивают коэффициентом запаса. Коэффициент запаса системы зажигания определяют отношением максимальной величины вторичного напряжения, развиваемой системой зажигания, к пробивному напряжению свечи

$$k_з = U_{2м}/U_{пр}.$$

Для обеспечения надежной работы системы зажигания принимают коэффициент запаса $k_з$ = 1,4—1,6. Из изложенного следует, что требования к системам зажигания, в частности к повышению вторичного напряжения, непрерывно возрастают.

Известно, что сгорание топливной смеси происходит не мгновенно, а в течение определенного промежутка времени. Чтобы

двигатель развивал максимальную мощность, необходимо некоторое опережение зажигания. Воспламенение смеси должно происходить раньше, чем поршень дойдет до верхней мертвой точки (в. м. т.). В этом случае процесс сгорания будет происходить в наибольшем объеме, а работа сгоревших газов достигнет максимального значения.

Момент зажигания принято характеризовать углом поворота коленчатого вала от момента пробоя искрового промежутка до в. м. т. Этот угол называют *углом опережения зажигания.* Угол опережения зажигания, при котором двигатель развивает максимальную мощность, зависит от частоты вращения двигателя, нагрузки и сорта топлива. Так, например, с увеличением частоты вращения двигателя необходимо увеличивать и угол опережения зажигания для того, чтобы смесь успевала полностью сгореть.

С ростом нагрузки (увеличивается открытие дроссельной заслонки) возрастает наполнение цилиндров и давление в конце сжатия, в результате чего процесс сгорания смеси ускоряется. Следовательно, при этом необходимо уменьшать угол опережения зажигания.

В результате применения топлива с более низким октановым числом возникает детонация, связанная с чрезвычайно быстрым сгоранием смеси. Детонация приводит к снижению долговечности двигателя. Чтобы устранить детонацию, необходимо уменьшить угол опережения зажигания.

Изменение угла опережения зажигания в зависимости от перечисленных факторов необходимо осуществлять автоматически. Следовательно, в систему зажигания должны быть включены следующие элементы, осуществляющие изменение угла опережения зажигания:

1) центробежный регулятор при изменении частоты вращения коленчатого вала двигателя;

2) вакуумный регулятор при изменении нагрузки (положения дроссельной заслонки);

3) октан-корректор при изменении сорта топлива (эта поправка вносится вручную).

Батарейную систему зажигания вследствие ее простоты и низкой стоимости широко применяют на автомобилях, тракторах и мотоциклах. Получившие в последнее время распространение электронные системы зажигания по сути являются теми же батарейными. Так как полупроводниковые приборы работают в режиме переключений без какого-либо искрения или механических повреждений, то можно значительно повысить силу тока разрыва, надежность и срок службы системы зажигания. Электронные приборы могут быть использованы для определения положения коленчатого вала, для регулирования опережения зажигания, а также делают возможным применение различных способов образования высокого напряжения.

§ 22. Теория батарейного зажигания

При работе батарейной системы зажигания происходят сложные электромагнитные процессы, и найти точные аналитические выражения для расчета характеристик системы зажигания трудно. Поэтому при выводе основных расчетных соотношений реальную электрическую схему системы зажигания представляют схемами замещения. При составлении схем замещения вводят следующие допущения.

1. Автотрансформаторную связь между первичной и вторичной обмотками катушки не учитывают, т. е. ее заменяют трансформаторной с коэффициентом связей, равным 1.

2. Параметры первичного и вторичного контуров принимают неизменными (постоянными).

3. Искровой распределитель заменяют трущимся.

4. Распределенные емкости вторичной цепи (свечи, провода высокого напряжения, токоведущие детали распределителя, вторичной обмотки) заменяют одной сосредоточенной C_2.

5. Пренебрегают влиянием вихревых токов и утечками тока по изоляции.

6. Принимают, что контакты прерывателя размыкаются мгновенно и без потерь энергии.

Рабочий процесс системы зажигания можно разделить на три этапа:

1) замыкание контактов прерывателя и накопление энергии в магнитном поле катушки;

2) размыкание контактов и индуктирование вторичного напряжения;

3) преобразование энергии в искровой разряд между электродами свечи.

При замыкании контактов прерывателя вторичную цепь можно считать разомкнутой (рис. 116), поскольку вторичная емкость и шунтирующее сопротивление велики, а частота переключения сравнительно мала. Предполагая, что к началу замыкания контактов сила тока в первичной обмотке равна нулю, можно записать

$$U = i_1 R_1 - e_s = i_1 R_1 + L_1 \frac{di_1}{dt},$$

где U - напряжение, приложенное к первичной обмотке;

R_1 и L_1 — соответственно активное сопротивление и индуктивность первичной цепи.

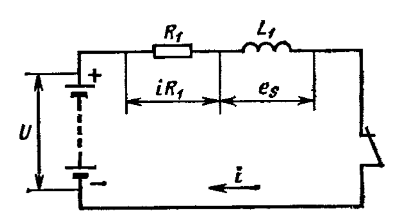
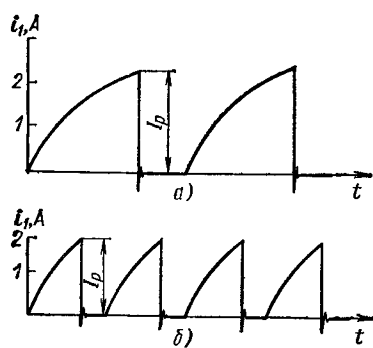


Рис. 116. Схема замещения батарейной системы зажигания после замыкания контактов



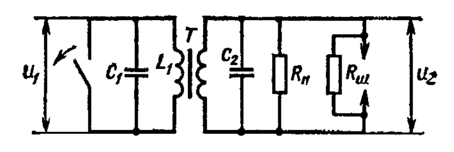


Рис. 118. Схема замещения батарейной системы зажигания после размыкания контактов (второй этап) $R_п$ — эквивалентное сопротивление потерь в системе; $R_ш$ — сопротивление, учитывающее нагар в свече зажигания: C_2 — суммарная емкость вторичной цепи

Рис. 117. Осциллограммы первичного тока катушки зажигания при различной частоте вращения двигателя:

а — $n_{дв}$= 1000 об/мин; *б* — $n_{дв}$ = 2000 об/мин

Решая это уравнение, получим

$$i_1 = \frac{U}{R_1}\left(1 - e^{-\frac{R_1}{L_1}t}\right).$$

К началу размыкания контактов сила тока первичной обмотки достигнет значения

$$I_р = \frac{U}{R_1}\left(1 - e^{-\frac{R_1}{L_1}t_з}\right) \quad (54)$$

или

$$I_р = \frac{U}{R_1}\left(1 - e^{-\frac{R_1}{L_1}\frac{120\gamma_з}{Zn}}\right).$$

Как видно, сила тока первичной обмотки в момент размыкания контактов прерывателя уменьшается с увеличением частоты вращения коленчатого вала и числа цилиндров двигателя. Она зависит также от параметров первичной цепи, т. е. от постоянной времени $T_1 = L_1/R_1$. Осциллограммы изменения силы тока при различных частотах вращения двигателя приведены на рис. 117.

К моменту размыкания контактов прерывателя в магнитном поле катушки накапливается энергия

$$W_м = \frac{I_р^2 L_1}{2}.$$

Во вторичной обмотке индуцируется ЭДС

$$e_2 = -k_т L_1 \frac{di_1}{dt} = -k_т U e^{-\frac{R_1}{L_1}t}.$$

Она достигает максимального значения в момент замыкания контактов прерывателя (при $t = 0$) и равна $Uk_т$.

Для анализа процесса, протекающего после размыкания контактов (второй этап), удобно воспользоваться схемой замещения, приведенной на рис. 118. На схеме не показана батарея, так как ее сопротивлением и величиной ЭДС можно пренебречь. В результате первичная обмотка катушки оказывается замкнутой на конденсатор *C1*, образуя колебательный контур с индуктивностью L_1, емкостью C_1 и сопротивлением R_1.

Вторичная обмотка вместе с емкостью C_2 образует вторичный колебательный контур, связанный с первичным колебательным контуром.

При размыкании контактов прерывателя сила тока i_1 будет изменяться и в контурах возникнут затухающие автокслебания, сопровождающиеся индуцированием ЭДС и перезарядом конденсаторов. Точно описать колебательные процессы сложно, поэтому для оценки величины вторичного напряжения можно воспользоваться балансом энергии колебательного процесса.

Предположим, что при автоколебаниях не происходит пробоя искрового промежутка свечи. Тогда сила тока и напряжение в первичном и вторичном колебательных контурах будут меняться по закону затухающих колебаний. При этом ток i_1 первичной обмотки будет изменяться по косинусоиде, а напряжения — по синусоиде (рис. 119). Через четверть периода при силе тока $i_1 = 0$ вся энергия магнитного поля преобразуется в энергию электрического поля конденсаторов *C1* и *C2*. Следовательно, в этот момент напряжения u_1 и u_2 достигнут максимальных значений. На основании баланса энергии можно записать

$$\frac{L_1 I_р^2}{2} = \frac{C_1 U_{1м}^2}{2} + \frac{C_2 U_{2м}^2}{2} + W, \qquad (55)$$

где W — потери энергии в колебательных контурах.

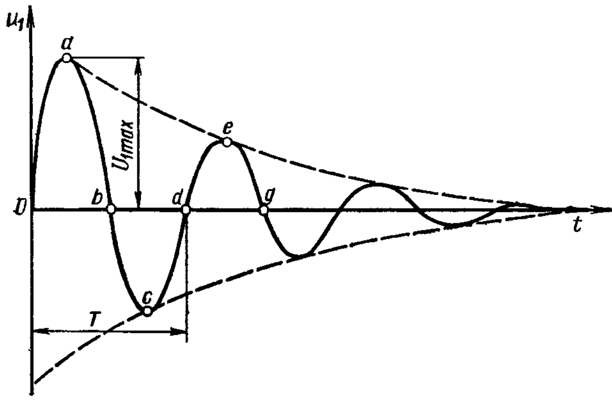


Рис. 119. Изменение напряжения U_1 в зависимости от времени t при следующих зарядах и разрядах емкостей C_1 и C_2:

0 — *a* — первоначальный заряд; *a—b* — первоначальный разряд; *b—c*; *d—e* — последующие заряды; *c—d*; *e—d* — последующие разряды

Напряжение на первичной обмотке можно выразить следующим образом: $U_{1м} = U_{2м}/k_т$. Тогда уравнение (55) можно представить в виде

$$I_р^2 L_1 = \left(C_1 \frac{1}{k_т^2} + C_2\right) U_{2м}^2 + 2W.$$

Решая это уравнение относительно максимального значения вторичного напряжения, получим

$$U_{2м} = \sqrt{\frac{I_р^2 L_1 - 2W}{C_1 \frac{1}{k_т^2} + C_2}}.$$

Если пренебречь потерями, то

$$U_{2м} \approx I_р^2 k_т \sqrt{\frac{L_1}{C_1 + k_т^2 C_2}}. \qquad (56)$$

Из этого уравнения видно, что вторичное напряжение пропорционально силе тока разрыва, коэффициенту трансформации и индуктивности первичной обмотки и уменьшается с увеличением емкостей первичной и вторичной цепей катушки зажигания.

При работе свечи зажигания на двигателе на изоляторе от нагара образуются токопроводящие мостики, шунтирующие искровой промежуток. Это учтено сопротивлением $R_ш$ (см. рис. 118), величина которого находится в пределах $(5 \div 10)\ 10^6$ Ом. Дополнительные потери энергии, возникающие при этом, приводят к уменьшению вторичного напряжения. На величину вторичного напряжения кроме сопротивления $R_ш$ влияют также магнитные потери, потери в изоляции (утечки тока по изоляции). Потери в этих элементах принято учитывать эквивалентным сопротивлением потерь $R_п$, шунтирующим искровой промежуток.

С учетом перечисленных потерь максимальную величину вторичного напряжения приближенно можно выразить следующей формулой:

$$U_{2м} = I_р k_т \sqrt{\frac{L_1}{C_1 + C_2 k_т^2}}\, \eta, \qquad (57)$$

где $\eta = e^{-\frac{\operatorname{arctg}\sqrt{\frac{4R_э^2 C_э}{L_1} - 1}}{\sqrt{\frac{4R_э^2 C_э}{L_1} - 1}}}$

— коэффициент затухания;

$$R_э = \frac{R_п R_ш}{R_п + R_ш} \frac{1}{k_т^2}$$

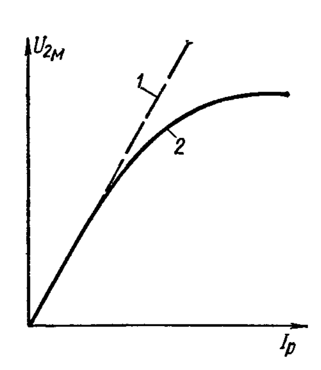


Рис. 120 Зависимость вторичного напряжения от силы тока разрыва:

1 — теоритическая; 2 — экспериментальная

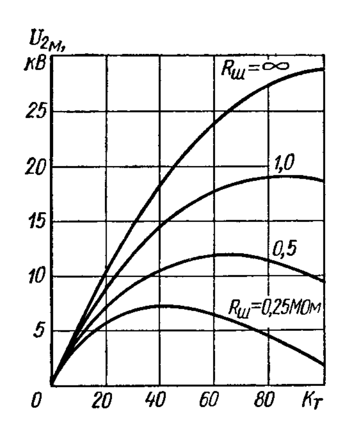


Рис. 121. Влияние коэффициента трансформации и шунтирующего сопротивления на величину максимального напряжения $U_{2\ м}$

— эквивалентное сопротивление потерь системы зажигания, приведенное к первичной цепи;

$$C_э = C_1 + C_2 k_т^2 \qquad (58)$$

— эквивалентная емкость.

Итак, на величину максимального вторичного напряжения влияют следующие параметры: сила тока разрыва $I_р$, коэффициент трансформации $k_т$, емкости первичной цепи C_1 и вторичной цепи C_2, величина индуктивности первичной обмотки L_1 и эквивалентное сопротивление потерь (в частности, сопротивление $R_ш$).

Из приведенной формулы (57) следует, что вторичное напряжение прямо пропорционально силе тока $I_р$. Однако такая зависимость наблюдается только при бездуговой работе контактов прерывателя. При большой силе тока разрыва вследствие потерь на дугу между контактами, потерь на утечки во вторичной цепи рост $U_{2м}$ замедляется. Зависимость максимального вторичного напряжения от силы тока разрыва приведена на рис. 120.

Ранее было показано, что сила тока разрыва, а следовательно, и вторичное напряжение с повышением частоты вращения коленчатого вала двигателя и увеличением числа его цилиндров уменьшаются Это можно отнести к недостаткам батарейной системы зажигания.

При очень малых частотах вращения коленчатого вала, когда период переключения контактов прерывателя T намного больше постоянной T_1 цепи первичной обмотки катушки зажигания, первичный ток достигает практически установившегося значения $I_р = U/R_1$. Теоретически напряжение $U_{2м}$ при малых частотах вращения должно быть постоянным и наибольшим. Однако

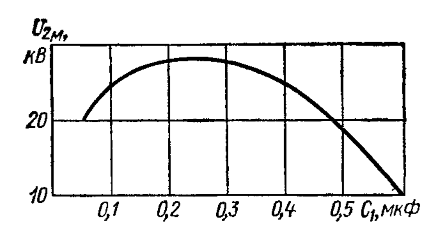


Рис. 122. Влияние емкости C_1 первичного конденсатора на напряжение катушки U_2

вследствие дугообразования на контактах прерывателя, которое увеличивается при снижении частоты вращения коленчатого вала, вторичное напряжение значительно меньше теоретического (рис. 120).

Степень влияния коэффициента трансформации на величину вторичного напряжения зависит от величины шунтирующего сопротивления $R_ш$. При отсутствии утечек ($R_ш = \infty$) величина $U_{2м}$ возрастает с увеличением коэффициента трансформации. При уменьшении величины $R_ш$ зависимость $U_{2м} = f(k_т)$ имеет нелинейный характер. Более того, для каждого значения $R_ш$ имеется оптимальное значение коэффициента трансформации, при котором $U_{2м}$ достигает максимального значения (рис. 121).

Вторичное напряжение пропорционально индуктивности первичной обмотки, которая влияет также и на силу тока разрыва. С увеличением индуктивности уменьшаются скорость возрастания силы тока в первичной обмотке и сила тока разрыва. Однако слишком уменьшать индуктивность L_1 нельзя, так как при этом уменьшается энергия магнитного поля и вторичное напряжение.

Согласно формуле (57) с увеличением первичной C_1 и вторичной C_2 емкостей должно уменьшаться напряжение $U_{2м}$. Однако в действительности при наличии в первичной цепи емкости определенной величины (0,25—0,35 мкФ) снижаются потери энергии на дугообразование при размыкании контактов и повышается вторичное напряжение. С этой целью первичный конденсатор обычно устанавливают внутри или снаружи распределителя. Вот почему при увеличении емкости C_1 конденсатора напряжение катушки $U_{2м}$ сначала возрастает, а затем, достигнув максимального значения, снижается (рис. 122).

Следует отметить, что параметры первичной цепи L_1 и C_1 выбирают из расчета получения требуемой электромагнитной энергии и обеспечения бездуговой работы контактов прерывателя. Уменьшение емкости C_2 ограничено конструкцией и технологией изготовления высоковольтных элементов. Экранирование системы зажигания ведет к значительному увеличению C_2 и снижению $U_{2м}$.

Из проведенного анализа следует, что батарейная система зажигания имеет ограниченные возможности для значительного повышения вторичного напряжения, основные конструктивные ее элементы достигли определенного совершенства.

Затухающий колебательный процесс изменения вторичного напряжения имел бы место при отсутствии пробоя искрового промежутка свечи. Но в действительности развиваемое вторичное напряжение больше пробивного напряжения свечи, т. е. $U_{2м} >$

$>U_{пр}$. Следовательно, при $u_2 = U_{пр}$ произойдет пробой искрового промежутка свечи и колебательный процесс нарушится.

Искровой разряд на свече при батарейной системе зажигания представляет собой сложное явление, которое можно представить состоящим из двух фаз — емкостной и индуктивной (рис. 123). Электрические разрядные процессы находятся в прямой связи с такими важными для практики факторами, как воспламеняющая способность искры, эрозия электродов свечи (определяет срок службы свечи) и помехи радиоприему.

Первая емкостная фаза разряда (после пробоя искрового промежутка свечи) характеризуется большими разрядными токами, поскольку искровой промежуток сильно ионизирован и сопротивление его мало. Разрядные токи при этом достигают нескольких десятков ампер, но протекают в течение очень короткого промежутка времени (доли или единицы микросекунд). Скорость изменения силы тока достигает около $50 \cdot 10^9$ А/с. Емкостную фазу разряда можно наблюдать как ярко голубоватую искру.

Вторая индуктивная фаза разряда за счет оставшейся энергии происходит по подготовленному каналу, при этом ток непрерывно протекает через искровой промежуток, сильно ионизированный предыдущим емкостным разрядом. Продолжительность этой фазы

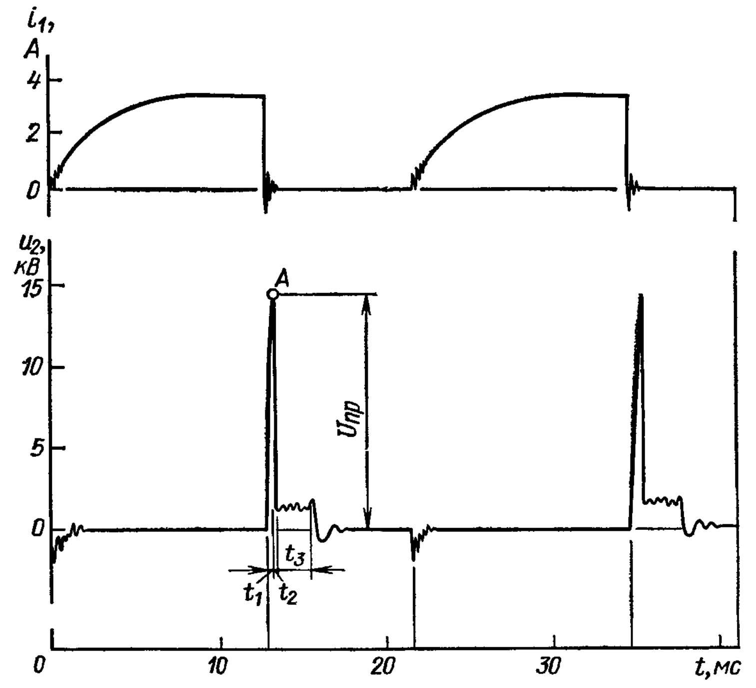


Рис. 123. Изменение первичного тока i_1 и вторичного напряжения u_2 при работе системы зажигания (t_1 — время нарастания вторичного напряжения до момента пробоя; t_2 — время емкостного разряда; t_3 — время индуктивного разряда)

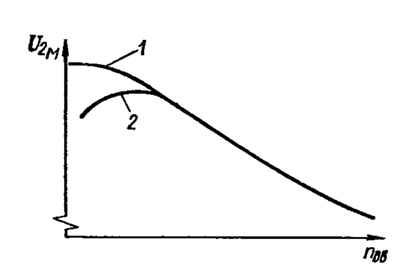


Рис. 124. Зависимость напряжения $U_{2м}$, создаваемого системой зажигания, от частоты вращения $n_{дв}$ вала двигателя:

1 — теоретическая; 2 — экспериментальная

достигает нескольких миллисекунд, а сила тока измеряется десятками миллиампер. Разряд продолжается практически до полного расхода электромагнитной энергии.

При нормальной величине питающего напряжения энергия емкостной фазы равна 5—15 МДж, в то время как энергия индуктивной фазы составляет 30—60 МДж. Обычно топливная смесь воспламеняется во время емкостной фазы искрового разряда. При пуске холодного двигателя индуктивная фаза способствует нагреву начального объема воспламеняемой смеси.

Основной характеристикой батарейной системы зажигания является зависимость напряжения $U_{2м}$, создаваемого катушкой зажигания, от частоты вращения коленчатого вала двигателя $n_{дв}$ (рис. 124).

Характеристика $U_{2м} = f(n_{дв})$ подчиняется формуле (56), в которой изменяется $I_р$ [формула (54)]. При такой частоте вращения двигателя действительная кривая *2* (рис. 124) расположена ниже теоретической, так как между контактами прерывателя при их медленном размыкании происходит дугообразование.

§ 23. Конструкция элементов системы батарейного зажигания

Свечи зажигания. Искровая свеча зажигания является важнейшим элементом системы зажигания двигателей внутреннего сгорания с принудительным воспламенением рабочей смеси. По принципу работы свечи можно разделить на следующие виды: с искровым промежутком; скользящей искрой; полупроводниковые; эрозийные. Наибольшее распространение получили свечи с воздушным искровым промежутком. Это объясняется их достаточно высокой надежностью и простотой конструкции. В таких свечах искровой разряд, воспламеняющий рабочую смесь, происходит между электродами свечи, ввернутой в головку блока двигателя.

При работе свеча подвержена высоким тепловым, механическим, электрическим и химическим воздействиям. Так, например, температура газовой среды в камере сгорания современного двигателя в течение цикла колеблется от 70 до 2500° С, а максимальное давление цикла достигает (50÷60) 10^5 Па. Напряжение между

электродами свечи составляет 10—15 кВ. При использовании бедной смеси в целях повышения экономичности двигателя необходимо для надежного зажигания увеличить зазор в искровом промежутке до 1—1,2 мм, следовательно, напряжение в свече возрастет до 20 кВ и более.

Свеча должна быть герметичной, так как прорывающиеся через нее газы будут перегревать изолятор. Для форсированных двигателей используют свечи с керамикой, содержащей 95% окиси алюминия (материалы синоксаль и боркорунд). В связи с низкими физико-механическими свойствами керамики уралит вместо нее все больше применяют керамику с большим содержанием Al_2O_3. Материал электродов должен иметь хорошую коррозионную и эрозионную стойкость, теплопроводность, жаростойкость, пластичность. Центральные электроды в отечественной промышленности изготовляют из хромотитановой (13Х25Т) или хромоникелевой (Х20Н80) сталей.

Для бокового электрода применяют никель-марганцевый сплав НМц5. Остальные детали свечи (корпус, контактная головка, теплоотводящая шайба, уплотнительное кольцо) изготовляют из конструкционных сталей. Между электродами устанавливают зазор в пределах 0,5—1,2 мм. Чем больше зазор, тем лучше воспламеняющая способность искры. Однако при этом вся система зажигания должна быть рассчитана на более высокое напряжение (повышается пробивное напряжение), а кроме того, необходимо учитывать, что в результате электрической эрозии возрастает износ электродов.

Для двигателей с низкими литровыми мощностями срок службы свечи составляет 70—80 тыс. км, для современных форсированных двигателей 15—20 тыс. км, а для двухтактных двигателей 5—8 тыс. км.

В случае неполного сгорания топливной смеси происходит отложение токопроводящего нагара на тепловом конусе свечи. При этом в результате возникновения тока утечки напряжение, развиваемое катушкой зажигания, уменьшается и может оказаться равным пробивному напряжению свечи, что приведет к перебоям в зажигании. Однако при нагреве теплового конуса до температуры 400—500° С происходит самоочищение от нагара. Для быстрого нагрева теплового конуса до температуры самоочищения он должен быть достаточно длинным. С другой стороны, при работе двигателя на полной мощности температура теплового конуса и электродов не должна превышать 850—900° С во избежание возникновения самопроизвольного зажигания от накаленных частей свечи. Калильное зажигание возникает раньше искрообразования между электродами свечи и характеризуется резким возрастанием температуры и давления газов, падением мощности. Калильное зажигание является неуправляемым процессом, приводящим к серьезным поломкам двигателя: прогару поршня, поломке коленчатого вала и т. п.

Таким образом, для того чтобы свеча не покрылась нагаром при работе двигателя на холостом ходу и не вызвала калильного зажигания на полной мощности двигателя, температура ее теплового конуса должна находиться в пределах 400—900° С.

Поскольку условия работы свечи в различных двигателях существенно различаются, а пределы температур практически одинаковые, то невозможно создать свечу одинаково хорошо работающую на всех двигателях.

Свеча, предназначенная для двигателя с умеренным тепловым режимом, имеет длинный тепловой конус, затрудняющий отвод теплоты от его конца. Изолятор такой свечи получает большое количество теплоты и плохо охлаждается, поэтому его температура будет достаточно высокой (выше температуры самоочищения). Такую свечу принято называть «горячей». И наоборот, свеча, предназначенная для форсированного двигателя с высокой литровой мощностью (в л. с./л), имеет короткий тепловой конус, обеспечивающий хорошую теплопередачу. Изолятор в этом случае будет получать от двигателя меньшее количество теплоты, лучше охлаждается и не будет перегреваться при работе. Такую свечу называют «холодной».

При установке «горячей» свечи на скоростной форсированный двигатель неизбежно возникнет калильное зажигание, а на изоляторе «холодной свечи», поставленной на тихоходный двигатель с низкой степенью сжатия, будет откладываться нагар, шунтирующий искровой промежуток свечи. Тепловую характеристику свечи оценивают калильным числом.

Калильное число свечи — это отвлеченная величина, пропорциональная среднему индикаторному давлению, при котором во время испытания свечи на специальной моторной установке возникает калильное зажигание. В настоящее время введен следующий ряд калильных чисел: 8, 11, 14, 17, 20, 23, 26.

При подборе свечи к двигателю необходимо учитывать реальные условия эксплуатации автомобиля. С этой целью автомобиль испытывают в характерных условиях и режимах эксплуатации со свечами, имеющими различные калильные числа. Оптимальной является свеча, у которой температура конца теплового конуса $400 < t_{тк} < 800°$ С.

Современная свеча (рис. 125, *а*) состоит из металлического корпуса *4* с резьбой для ввертывания в головку цилиндра. В корпусе *4* закреплен изолятор *3*, внутри которого проходит контактный стержень *2*, оканчивающийся гайкой *1* в верхней части и центральным электродом *8* в нижней. Во многих современных конструкциях свечей центральный электрод *8* и контактный стержень *2* разделены электропроводным стеклогерметиком *5*. Для лучшего сцепления на нижней части контактного стержня выполнена сетчатая накатка. К торцу корпуса приварен боковой электрод *9*. Между коническими посадочными местами изолятора и корпуса устанавливают уплотнительную (теплоотводящую) сталь-

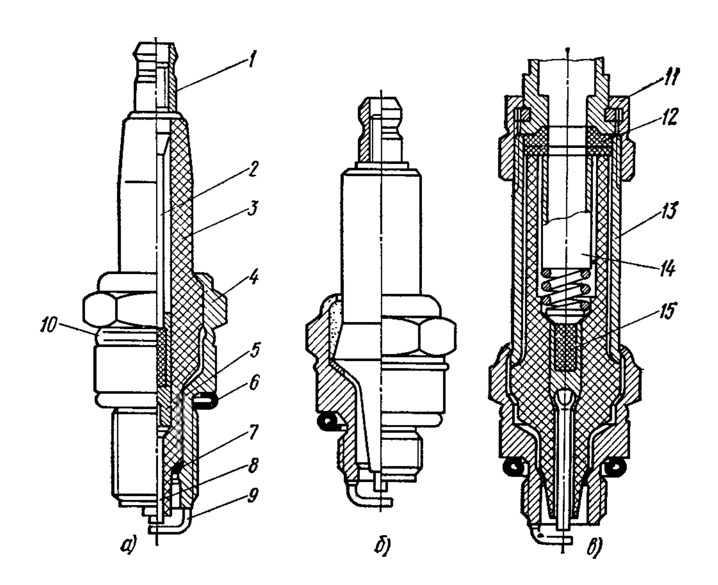


Рис. 125. Свечи зажигания:

а — с изолятором из материала синоксаль; *б* — с изолятором из материала уралит; *в* — экранированная; *1* — контактная головка; *2* — контактный стержень; *3* — изолятор; *4* — корпус; *5* — электропроводный стеклогерметик; *6* — уплотнительное кольцо; *7* — теплоотводящая шайба; *8* — центральный электрод; *9* — боковой электрод; *10* — термоосадочный поясок; *11* — гайка; *12* — уплотнительное кольцо; *13* — экран; *14* — контактное устройство; *15* — контактный стержень

ную шайбу *7*. Под свечу подкладывают уплотнительное кольцо *6*.

Герметизация изолятора по корпусу в одних конструкциях достигается опрессовкой талька (рис. 125, *б*) с последующей завальцовкой буртика корпуса, а в других применением более прогрессивного способа с использованием термоосадки корпуса. После завальцовывания буртика корпуса термоосадочный поясок *10* нагревается током высокой частоты до температуры 700—800° С, после чего опрессовывается при усилии $(20 \div 25)\ 10^3$ Н.

Для двигателей с экранированным зажиганием применяют экранированные и, как правило, герметизированные свечи (рис. 125, *в*). Контакт провода со свечей осуществляется с помощью специального контактного устройства *14*. Защита от попадания влаги обеспечивается резиновым уплотнением и гайкой, навернутой на экран *13*. Контактный стержень *15* выполнен укороченным. Свеча, показанная на рис. 125, *б* («горячая»), имеет уралитовый изолятор и герметизирована по корпусу тальком, а по центральному электроду термоцементом. Свечи, показанные на рис. 125, *а* и *в*, имеют изолятор из материала синоксаль или хилумин и герметизированы термоосадкой корпуса и стеклогерметиком (по центральному электроду). Это «холодные» свечи.

В соответствии с ГОСТ 2043—74 введена следующая маркировка свечей. Первая буква обозначает резьбу на корпусе (А соответствует резьбе М14×1,25, М—М18×1,5); одна или две цифры, следующие за буквой, выражают калильное число свечи. Затем указывается буквенное обозначение длины резьбы (Н — 11 мм, Д — 19 мм). Следующая буква В соответствует выступанию за корпус теплового конуса. Последняя буква Г обозначает герметизацию изолятора по центральному электроду термоцементом. Длину резьбовой части корпуса 12 мм, отсутствие выступания теплового конуса изолятора за торец корпуса и герметизацию каким-либо иным материалом, кроме термоцемента, не обозначают. Например, свеча зажигания марки А20ДВ (ГОСТ 2043—74) имеет резьбу М14×1,25, калильное число 20 единиц, длину резьбовой части корпуса 19 мм, выступающий тепловой конус, а соединение изолятор—центральный электрод герметизировано не термоцементом, а иным материалом.

Изолятор свечи является основной ее частью, и от свойств материала изолятора зависят свойства и характеристики свечи. Изоляторы свечей отечественного производства изготовляют из керамики на основе окиси алюминия Al_2O_3. При изготовлении свечей для двигателей с умеренным тепловым режимом используют керамический материал уралит, содержащий 75% окиси алюминия.

Катушка зажигания. В системах батарейного зажигания используют катушки с двумя типами магнитопровода: с почти замкнутым и разомкнутым. Наибольшее распространение получила катушка с разомкнутым магнитопроводом более простой конструкции. Катушки с почти замкнутым магнитопроводом имеют бо̀льшую индуктивность при одном и том же числе витков. Это является их преимуществом. Недостатками их являются большие потери в магнитопроводе и более сложная конструкция.

Связь между обмотками может быть автотрансформаторной и трансформаторной. В первом случае уменьшается число внешних выводов, так как первичная и вторичная обмотки соединены вместе внутри катушки и имеют общий вывод. Кроме того, в создании высокого напряжения таких катушек участвует первичная обмотка, включенная последовательно со вторичной, как в обычном автотрансформаторе.

Трансформаторная связь находит применение в электронных системах зажигания для избежания опасных перенапряжений на полупроводниковом приборе при разрядных процессах.

Большинство современных катушек зажигания выполняют маслонаполненными. Кроме того, обмотки могут быть залиты компаундом или опрессованы пластмассой. В зависимости от предъявляемых к системе зажигания требований в ее первичную цепь может быть включен добавочный резистор, закорачиваемый при пуске двигателя. Его или конструктивно объединяют с катушкой зажигания, или устанавливают отдельно.

На рис. 126 приведены основные конструктивные типы катушек, применяемых на отечественных автомобилях. Катушка Б117А (рис. 126, *а*) не имеет добавочного резистора. Сердечник *12* катушки набран из листов электротехнической стали Э1000. Вторичная обмотка *7* намотана на втулку *8*, выполненную из кабельной бумаги. Начало вторичной обмотки соединено с сердечником *12*, который через пружину *13* и винт *2* соединен с высоковольтным выводом *14*. Конец вторичной обмотки вместе с началом первичной обмотки припаян к левой клемме *3*. Вторичная обмотка состоит из 23 600 витков провода ПЭМВМ диаметром 0,07 мм, намотанных в 52 ряда, с изоляцией каждого ряда двумя слоями бумаги толщиной 25 мкм.

Первичную обмотку *6* наматывают сверху вторичной, предварительно обмотанной изоляционной бумагой. Обмотка состоит из 302,5 витка провода диаметром 0,53 мм. Между рядами обмотки прокладывают изоляционную бумагу. Конец первичной обмотки припаян к другой клемме *3*. Расположение сильно нагретой первичной обмотки на периферии способствует ее лучшему охлаждению. Корпус катушки *9* выполнен из алюминия.

Кольцевой магнитопровод *5*, свернутый в 2,5 оборота, улучшает магнитную проводимость катушки. Сердечник *12* изолирован от дна кожуха стеатитовым изолятором *10*. Между кожухом катушки и крышкой *1* проложено резиновое уплотнительное кольцо *4*, буртик кожуха завальцован. Крышка *1* изготовлена из высоковольтной пластмассы (фенопласта). Центральное отверстие в крышке предназначено для заливки в катушку масла после сборки. Крепится катушка с помощью скобы *11*.

Катушка зажигания Б115 (рис. 126, *б*) отличается от предыдущей обмотками (w_1 = 330 витков, w_2 = 25 000 витков), материалом кожуха, который выполнен из стали, отсутствием центрального отверстия и др.

На крепежной скобе *17* катушки укреплен добавочный резистор, выполненный из константановой проволоки диаметром 0,45 мм в виде спирали *16*. Сопротивление резистора составляет 1,8—1,9 Ом. Концы спирали присоединены к стальным шинам *20*. Спираль заключена в фарфоровый держатель *19* и закреплена в нем теплостойкой мастикой. Две половины держателя соединены винтом *18* со стальной обоймой *15*, укрепленной на скобе *17*.

В экранированных системах зажигания применяют экранированные катушки (рис. 126, *в*) с малым уровнем радиопомех. Закрепленный на катушке обычной конструкции с помощью обоймы экран *21*, выполненный из алюминиевого сплава, имеет следующие герметизированные выводы: *22*, *24* для низкого напряжения и *25* для высокого напряжения. Дополнительный резистор в цепи первичной обмотки в таких системах устанавливают отдельно от катушки.

Прерыватель-распределитель. Конструктивно прерыватель-распределитель и устройства опережения зажигания объединяют

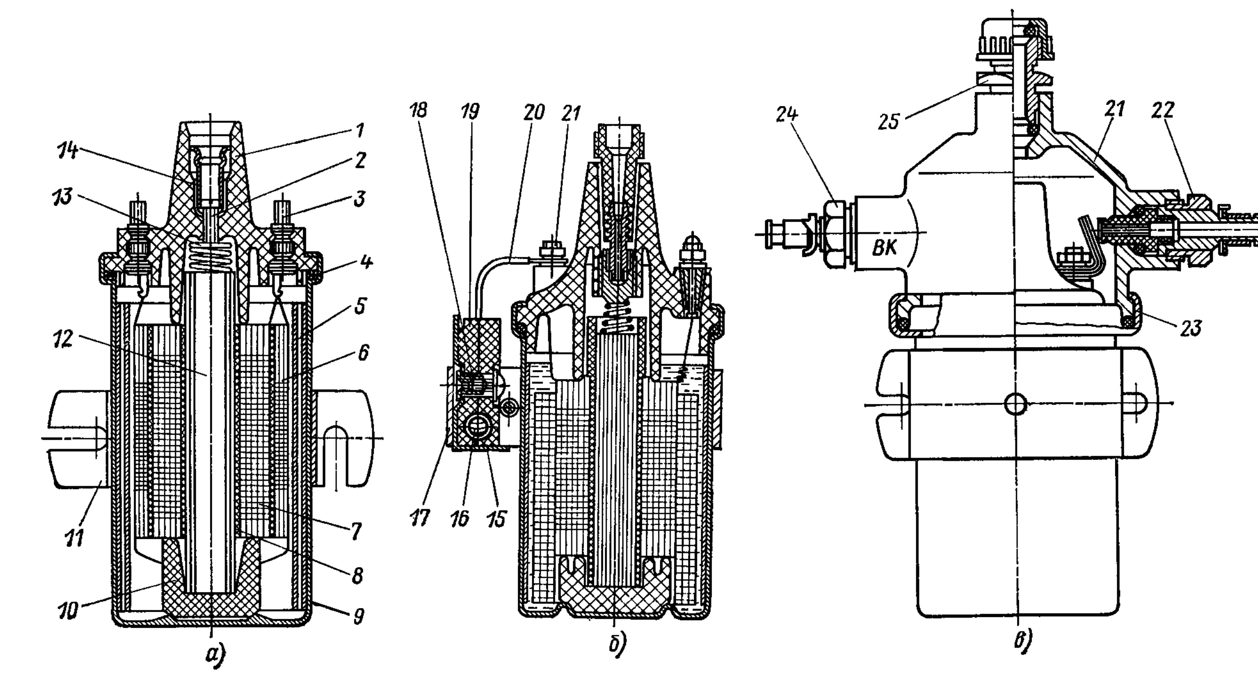


Рис. 126. Катушки зажигания различных типов батарейной системы:

а — Б117А; *б* — Б115 с добавочным резистором, установленным на корпусе; *в* — Б7А, экранированная водонепроницаемая; *1* — крышка; *2* — контактный винт; *3* — клеммы низкого напряжения; *4* — уплотнительное резиновое кольцо; *5* — наружный кольцевой магнитопровод; *6* — первичная обмотка; *7* — вторичная обмотка; *8* — изоляционная втулка; *9* — корпус; *10* — высоковольтный керамический изолятор; *11* — скоба для крепления катушки; *12* — шихтованный сердечник; *13* — контактная пружина; *14* — высоковольтный вывод; *15* — стальная обойма; *16* — спираль добавочного резистора; *17* — крепежная скоба; *18* — винт; *19* — фарфоровый держатель; *20* — стальная шина; *21* — экран; *22, 24* — выводы низкого напряжения; *23* — обойма, скрепляющая экран с корпусом катушки; *25* — вывод высокого напряжения

в один прибор, который называется прерывателем-распределителем зажигания. Валик распределителя обычно получает вращение от кулачкового вала двигателя или от вала привода масляного насоса с помощью шлицевого шестеренчатого, или кулачкового привода. Частота вращения валика в 2 раза меньше частоты вращения коленчатого вала.

Большинство распределителей имеют центробежные и вакуумные автоматы опережения зажигания, однако в некоторых конструкциях с целью их упрощения вакуумный автомат не устанавливают.

На рис. 127 показана конструкция распределителя типа Р125, устанавливаемого на автомобилях ВАЗ. Этот распределитель не имеет вакуумного автомата. В корпус *9*, выполненный из алюминиевого сплава, запрессована втулка *10*, в которой вращается валик *11*. Смазывается валик жидким маслом через масленку *32* и фильц *34*. Масло пропитывает пористую металлокерамическую втулку *10*. Прерыватель смонтирован на подвижной пластине *6*, прижатой к опорной пластине *7* плоской пружиной *8*. Пластина *6* с помощью тяги *13* связана с эксцентриком *33* октан-корректора и при вращении последнего может поворачиваться в некоторых пределах, обеспечивая изменение первоначальной установки угла опережения зажигания в пределах $\pm 5°$ по коленчатому валу.

Рычажок *25* прерывателя вращается на оси *24*, от которой он изолирован текстолитовой втулкой *22*. Рычажок штампуется из стальной ленты и имеет усилительные ребра, что обеспечивает ему необходимую жесткость при минимальном моменте инерции. Ток к рычажку подводится через клемму *31*, проводник *28* и плоскую пружину *23*.

Контакты *30* выполнены из дугостойкого материала — вольфрама. Пружина *23* обеспечивает между ними давление 5Н. Пропитанный маслом фетровый фильц *14* смазывает поверхность кулачка во время работы. Неподвижный контакт припаян к стойке *27*. При вращении валика кулачок *15* периодически входит в соприкосновение с текстолитовой подушкой *26*, обеспечивая размыкание и замыкание контактов. Зазор между контактами (0,37—0,43 мм) регулируют поворотом стойки *27* с помощью отвертки, вставленной в специальный паз *29* в контактной стойке. Предварительно ослабляют винты, крепящие стойку. К выводной клемме, соединенной с катушкой зажигания, прикреплен провод от конденсатора *35*.

Узел прерывателя вместе с контактной стойкой является неразборной конструкцией, обеспечивающей ее легкую замену. В верхней части валика закреплена ведомая пластина *4* центробежного автомата, а в стальной пластине *16* с кулачком — оси центробежных тел (грузиков) *3*. Под действием пружин фасонный профиль пластины *4* и центробежные тела прижаты. При увеличении частоты вращения валика грузики *3*, преодолевая сопротивление пружин, обкатываются по профилю ведомой

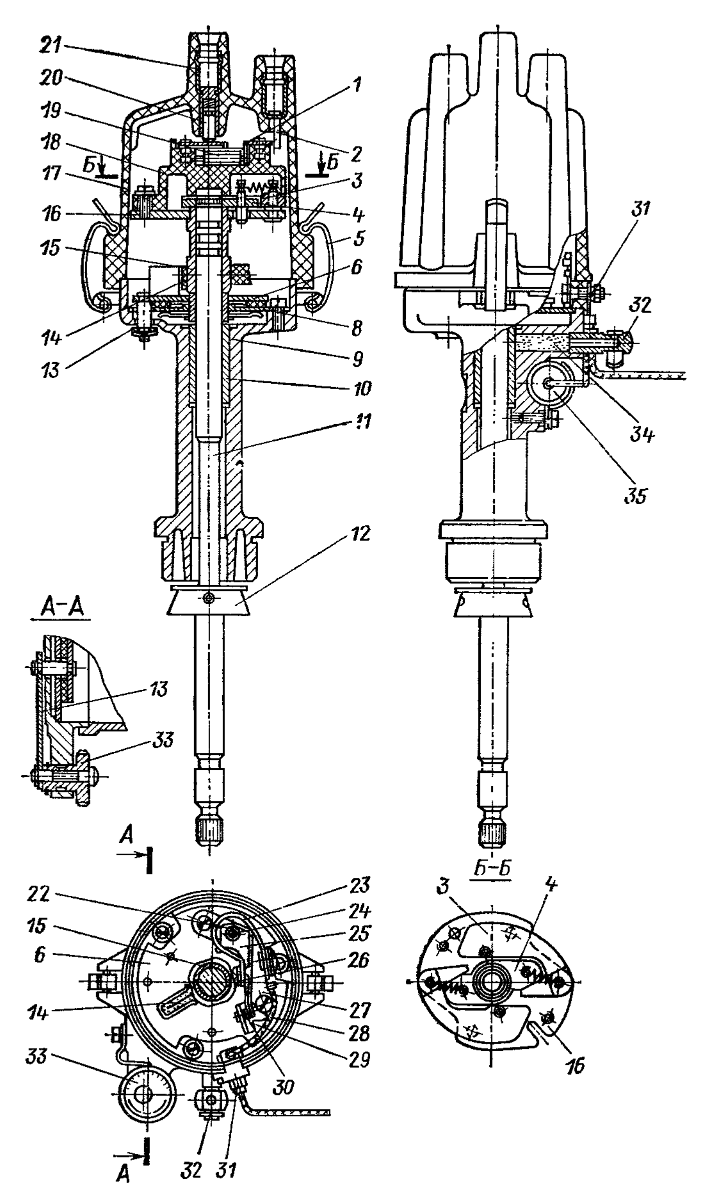


Рис. 127. Конструкция распределителя типа Р125

пластины. При этом оси грузиков, пластина *16* и кулачок поворачиваются по часовой стрелке на некоторый угол относительно валика, обеспечивая раннее размыкание контактов.

Центробежный автомат работает при изменении частоты вращения валика распределителя в пределах 500—2250 об/мин. При этом угол опережения зажигания изменяется на 15° 30′.

К узлу распределителя относятся ротор *18* и крышка *17*, изготовленные из фенопласта. Ротор имеет тарельчатую форму и укреплен на пластине *16* двумя винтами. Высокое напряжение от катушки зажигания подводится к клемме *21* и через пружину, угольный контакт *20* и помехоподавительный резистор *19* подается на электрод *1* ротора, который распределяет напряжение через боковые электроды *2* по цилиндрам двигателя.

Между контактной пластиной ротора и боковыми электродами предусмотрен воздушный зазор 0,3—0,5 мм, который пробивается искрой. Искровой разряд ионизирует воздух внутри распределителя, что приводит к коррозии его деталей, а также пробою изоляции. Для вентиляции внутренней полости на боковой поверхности крышки имеются два отверстия. Боковые ребра на внутренней поверхности крышки повышают ее электрическую прочность. Крепится крышка двумя пружинами *5*. Для предотвращения проникновения моторного масла в полость распределителя в нижней части валика установлен маслоотражательный диск *12*.

Распределитель Р4-В (рис. 128), применяемый на быстроходных восьмицилиндровых двигателях, имеет как центробежный *2*, так и вакуумный *7* автоматы опережения зажигания. По конструкции этот распределитель существенно отличается от рассмотренного Р125.

В чугунном корпусе запрессованы две медно-графитовые втулки, в них вращается валик распределителя с центробежным автоматом *2*, кулачком *5* и ротором *6* распределителя. Подвижная пластина *4* прерывателя установлена на шариковом подшипнике, обеспечивающем легкость ее перемещения при работе вакуумного автомата. Массирующий проводник *9*, соединяющий подвижную и неподвижные пластины, препятствует прохождению тока через подшипник и его выходу из строя. Пластина *12* неподвижного контакта при вращении эксцентрика *11* во время регулировки зазора между контактами может поворачиваться вокруг оси *13* рычажка. Винт *14* крепит пластину к корпусу. Малогабаритный конденсатор *15* установлен внутри распределителя. Функции помехоподавительного резистора выполняет уголок *1* сопротивлением 8—14 кОм.

Центробежный автомат распределителя Р4-В в отличие от Р125 расположен внизу. На валике закреплена пластина *3*, являющаяся основанием центробежного автомата. На пластине держатся две шпильки — оси двух грузиков.

Грузики стянуты пружинами, установленными между стойками и осями противоположных грузиков. Пальцы грузиков *17*

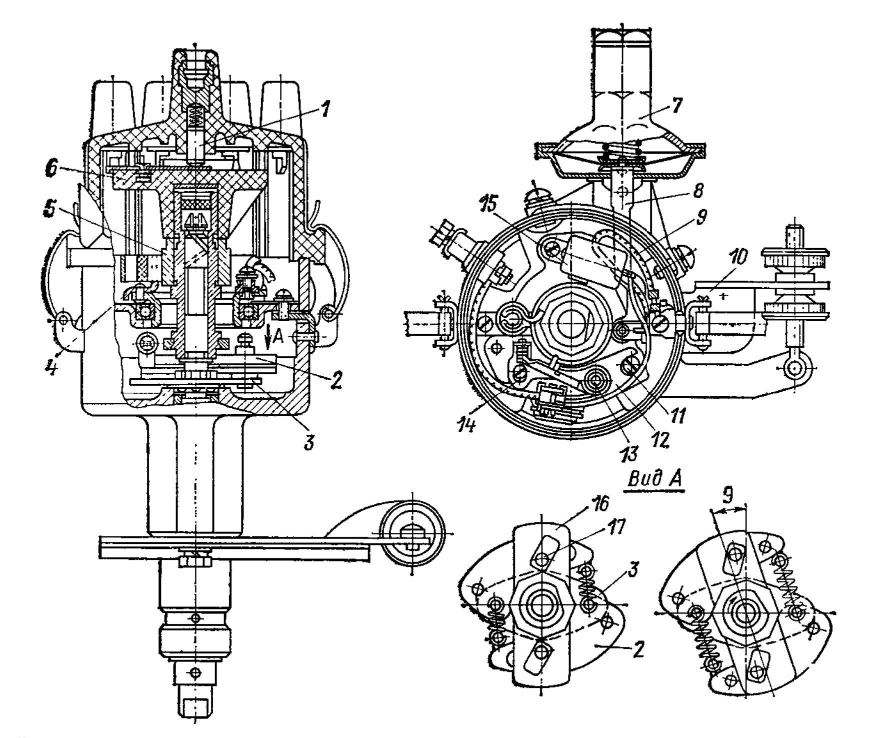


Рис. 128. Конструкция распределителя Р4-В

входят в прорези поводковой пластины *16* кулачка, которая закреплена на втулке с напрессованным кулачком. При повышении частоты вращения вала центробежная сила, действующая на грузики, увеличивается. Преодолевая сопротивление пружин, грузики расходятся и своими пальцами через поводковую пластину поворачивают относительно вала втулку с кулачком в сторону вращения валика, обеспечивая требуемое опережение зажигания. Пружины имеют различную жесткость, что позволяет получить требуемый закон изменения угла опережения зажигания при изменении частоты вращения вала двигателя.

Вакуумный автомат *7* прикреплен к корпусу распределителя. Между корпусом и крышкой установлена диафрагма, изготовленная из специальной прорезиненной бензомаслостойкой ткани. В центре диафрагмы закреплена тяга *8*, связанная с шипом подвижной пластины. Полость корпуса сообщается с атмосферой, а полость крышки посредством трубопровода со смесительной камерой карбюратора. Отверстие для отбора вакуума расположено таким образом, что при холостом ходе двигателя заслонка *1* перекрывает отверстие и оно оказывается на стороне карбюратора (рис. 129, б) Вакуум в полости автомата небольшой, и пружина *2* поворачи-

вает мембрану 3 в сторону вращения, обеспечивая позднее зажигание.

По мере открытия заслонки 1 (увеличения нагрузки) разрежение в патрубке возрастает, мембрана 3 автомата втягивается, поворачивая прерыватель 4 в сторону, соответствующую раннему зажиганию. При дальнейшем открытии дросселя (полная нагрузка) разрежение в патрубке снижается и пружина, так же как в режиме холостого хода, возвращает прерыватель в положение, соответствующее позднему зажиганию. Типичная характеристика вакуумного автомата (зависимость угла опережения зажигания θ от разрежения $p_а$ в полости автомата) приведена на рис. 129, *а*.

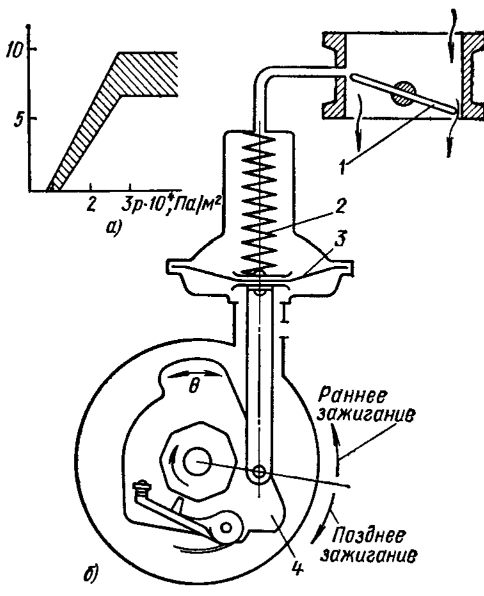


Рис. 129. Вакуумный автомат и его рабочая характеристика

В конструкции рассматриваемого распределителя изменение установочного угла опережения зажигания производится при повороте корпуса всего распределителя. Нижняя пластина октан-корректора 10 (см. рис. 128) прикреплена к блоку цилиндров, верхняя — к корпусу распределителя. Обе пластины связаны между собой тягой и круглыми регулировочными гайками. Перемещая гайки, а вместе с ними верхнюю пластину, можно изменять угол опережения зажигания в пределах ±12° по углу поворота коленчатого вала.

Распределитель Р102 устанавливают на двигателе автомобиля ЗИЛ-131. Он не имеет вакуумного автомата. Корпус распределителя отлит из алюминиевого сплава, в его нижней части залит стальной хвостовик. Вся верхняя часть распределителя закрыта цилиндрическим экраном, выполненным также из алюминиевого сплава.

Вывод высоковольтных проводов осуществлен через герметизированные резьбовые патрубки и экранированные шланги. Провод низкого напряжения также имеет специальный герметизированный ввод. Все вводы проводов и плоскости разъема распределителя уплотнены резиновыми прокладками. Картер двигателя в месте посадки также герметизирован. Распределитель имеет систему вентиляции, необходимую для удаления озона, образую-

щегося при искровом распределении тока высокого напряжения. Один из трубопроводов, сообщающийся с внутренней полостью распределителя, соединен с воздушным фильтром карбюратора. Воздух в распределителе циркулирует вследствие пониженного давления в фильтре.

§ 24. Электронные батарейные системы зажигания

Развитие современного двигателестроения связано с предъявлением все более высоких требований к системам зажигания. Они заключаются в увеличении вторичного напряжения при одновременном повышении надежности, долговечности. Такие требования не могут быть удовлетворены при использовании батарейной системы зажигания, так как в этом случае практически единственным реальным способом, с помощью которого можно увеличить напряжение $U_{2м}$, является увеличение силы тока разрыва. Однако увеличение тока разрыва свыше определенного значения (3,5—4А при 12В) приводит к ненадежной работе контактов прерывателя и резкому сокращению срока их службы. Это заставило специалистов искать новые пути решения задач на основе последних достижений электронной техники и пересмотра некоторых принципов, положенных в основу работы батарейной системы зажигания.

В настоящее время получили распространение следующие электронные батарейные системы зажигания: с накоплением энергии в индуктивности (транзисторные системы зажигания) и емкости (тиристорные системы зажигания).

Эти типы систем зажигания могут быть выполнены как с контактным, так и с бесконтактным управлением. В первом случае датчиком управляющих импульсов является обычный прерыватель, установленный в распределителе. Во втором — специальный бесконтактный датчик.

Преимущества электронной системы зажигания с контактным управлением перед классической батарейной заключается в том, что с введением в схему полупроводникового усилителя можно увеличить ток в первичной катушке зажигания до 6—8 А при одновременном уменьшении тока, разрываемого контактами прерывателя, до 0,5—1,0 А. Такая система зажигания имеет большую надежность.

На рис. 130, *а* приведена принципиальная схема контактно-транзисторной батарейной системы зажигания с транзисторным коммутатором типа ТК102. Основными элементами системы зажигания являются катушка зажигания *Т1*, обычный распределитель зажигания с прерывателем *П* (без конденсатора), транзисторный коммутатор, блок добавочных сопротивлений $R_{д3}$ и $R_{д4}$, выключатель зажигания ВЗ.

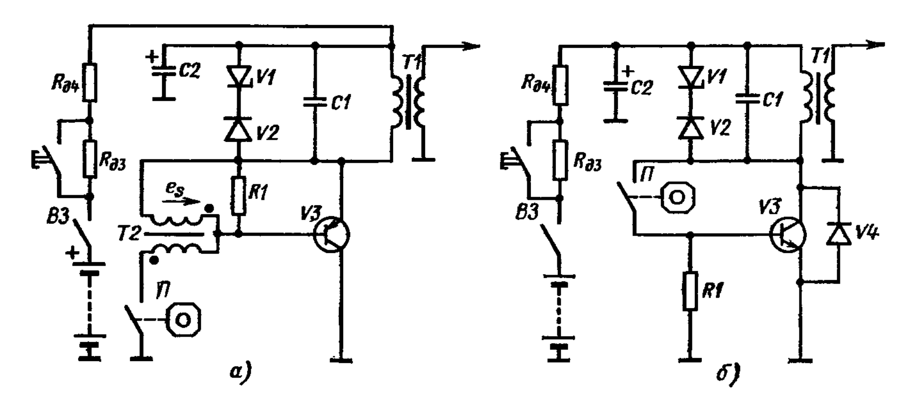


Рис. 130. Схемы батарейных контактно-транзисторных систем зажигания;
а — на германиевом транзисторе; *б* — на кремниевом транзисторе

Транзисторный коммутатор содержит мощный транзистор *V3*, стабилитрон *V1*, диод *V2*, сопротивление *R1*, трансформатор *T1* и два конденсатора *C1* и *C2*. Первичная обмотка катушки зажигания включена в цепь эмиттера транзистора *V3*. Управление транзистором осуществляется с помощью контактов прерывателя, включенных в цепь базы транзистора.

При замкнутом выключателе зажигания и замкнутых контактах прерывателя транзистор находится в состоянии насыщения и по первичной обмотке катушки протекает ток. Силу тока разрыва транзисторной системы зажигания определяют по формуле (54). Суммарное сопротивление первичной цепи.

$R_1 = R_{д3} + R_{д4} + R_w + R_н$,

где $R_{д3}$ — часть добавочного сопротивления, закорачиваемая при пуске;
$R_{д4}$ — незакорачиваемая часть добавочного сопротивления;
R_w — омическое сопротивление первичной обмотки;
$R_н$ — сопротивление участка эмиттер-коллектор транзистора в насыщенном состоянии. Сопротивление насыщения германиевых транзисторов мало, около 0,1 Ом. У кремниевых транзисторов $R_н$ может достигать 0,5—0,6 Ом.

На первом этапе рабочий процесс практически протекает так же, как в батарейной системе зажигания. Отличие в том, что через контакты прерывателя протекает ток базы транзистора в $(B + 1)$ раз меньшей силы тока первичной обмотки.

После размыкания контактов прерывателя транзистор переключается в состояние отсечки. С помощью трансформатора *T2* обеспечивается отрицательное смещение на эмиттерном переходе транзистора, поскольку в первичной обмотке индуцируется ЭДС взаимоиндукции e_S (показана стрелкой). В результате запи-

рания транзистора первичная обмотка катушки зажигания отключается от батареи и во вторичной цепи возникает высокое напряжение, пробивающее искровой промежуток свечи.

Одновременно с возникновением высокого напряжения на вторичной обмотке в первичной индуцируется большая ЭДС самоиндукции. С целью исключения перенапряжения на транзисторе первичная обмотка катушки зажигания шунтирована цепочкой стабилизации *V2—V1*. Напряжение стабилизации стабилитрона *V1* выбрано таким, чтобы напряжение на транзисторе не превышало предельно допустимого.

Электролитический конденсатор *C2* защищает транзистор от случайных импульсных перенапряжений, которые могут возникнуть в цепи питания.

По условиям допустимого нагрева катушки мощность потерь в ней не должна превышать определенной величины. Практика показывает, что для типовых катушек мощность потерь $P = UI_р = I_р^2 R_1 \leqslant 30$ *Вт*. Так как максимальный ток разрыва $I_р$ в этой системе увеличен до 7 А и более, то во избежание перегрева первичной обмотки ее сопротивление было уменьшено до 0,36—0,38 Ом. А это потребовало введения дополнительных сопротивлений $R_{д3}$ и $R_{д4}$.

Путем закорачивания сопротивления $R_{д3}$ с помощью замыкателя улучшается пуск двигателя.

Катушка зажигания имеет трансформаторную связь с повышенным коэффициентом трансформации ($k_т = 235$) и малую индуктивность первичной обмотки ($L_1 = 3{,}7$ мГ).

В рассмотренной системе применен мощный германиевый транзистор ГТ701-А с допустимой силой тока коллектора 12 А и предельно допустимым напряжением на эмиттерно-коллекторном переходе 160 В. Недостатком германиевых транзисторов является низкая максимальная температура структуры 75° С, не позволяющая использовать их при повышенной температуре.

Кремниевые транзисторы, допускающие максимальную температуру структуры 150—190° С, позволяют установить транзисторные коммутаторы в моторном отделении автомобиля и исключить активное запирание транзистора.

На рис. 130, *б* приведена принципиальная схема контактно-транзисторной системы зажигания с кремниевым транзистором проводимости *n—p—n*. Отличительной особенностью схемы является отсутствие запирающего трансформатора и наличие диода, шунтирующего транзистор. Диод *V4* защищает транзистор от инверсного включения при колебательном процессе в первичной цепи.

Система зажигания, выполненная по этой схеме, работает аналогично предыдущей. Недостатком этой схемы является необходимость изолировать корпус транзистора от массы и неподвижного контакта от корпуса распределителя, что не обеспечивает унификации систем зажигания.

Бесконтактная транзисторная система зажигания. В процессе дальнейшего совершенствования транзисторной системы зажигания был исключен механический прерыватель как наименее надежное звено системы. Устанавливаемый вместо механического прерывателя бесконтактный датчик позволяет исключить периодическую регулировку системы, заменить износившиеся узлы и повысить надежность системы зажигания.

Системы зажигания с бесконтактным управлением, так же как и с контактным управлением, разделяют на системы с накоплением энергии в индуктивности и в емкости.

Генерирование импульсов управления моментом искрообразования может осуществляться следующими типами датчиков: магнитоэлектрическими, параметрическими, фотодатчиками, датчиками Холла, пьезодатчиками и др. В магнитоэлектрических датчиках энергия преобразуется из механической в электрическую, как в обычном генераторе с возбуждением от постоянных магнитов.

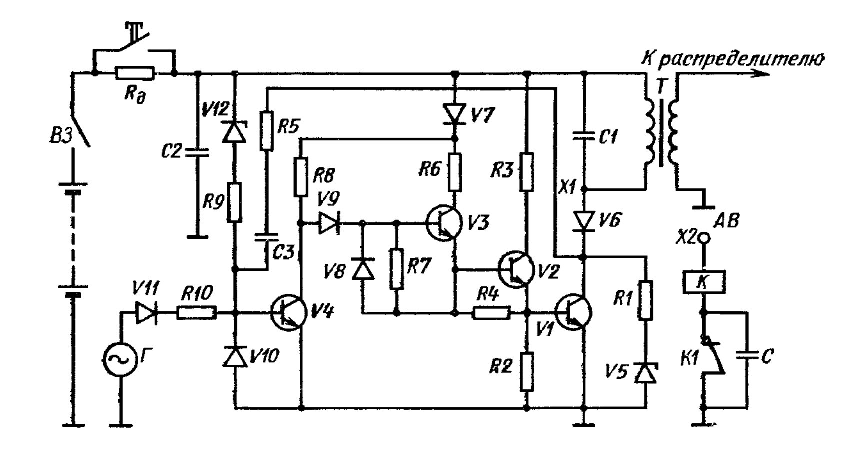
Из датчиков параметрического типа применение находят взаимоиндуктивные, в основу работы которых положен принцип изменения магнитной связи между обмотками или изменения другого какого-либо параметра цепи, например индуктивности. В фотодатчиках может быть использован фотоэлемент с запорным слоем (например, селеновый), который преобразует энергию световых импульсов в электрические, а также фотосопротивления (фотодиоды и фототриоды), меняющие свое сопротивление при изменении силы падающего на них света. С этой целью между источником света и фотодатчиком помещают прерыватель света, например вращающийся диск с прорезями. В датчике Холла преобразователь представляет собой пластинку из полупроводника, находящуюся в магнитном поле и по которой протекает ток. При изменении одной из этих величин изменяется разность потенциалов на гранях пластинки и возникают импульсы управляющего напряжения.

В пьезоэлектрических датчиках использован эффект возбуждения ЭДС в специальных кристаллах при механических воздействиях.

На рис. 131 приведена принципиальная электрическая схема бесконтактной экранированной системы зажигания для восьмицилиндрового двигателя с использованием магнитоэлектрического датчика.

При включенном замке зажигания *ВЗ* и неподвижном коленчатом вале двигателя транзистор *V4* закрыт, а транзисторы *V1*, *V2* и *V3* открыты. Состояние насыщения транзисторов *V1*, *V2* и *V3* обеспечивается цепочкой смещения *V7—R8—V9—R7—R4—R2*, которая подключена к аккумуляторной батарее через дополнительное сопротивление $R_д$.

При вращении коленчатого вала двигателя в обмотке статора магнитоэлектрического датчика *Г* генерируется переменное на-



Рис, 131. Бесконтактная экранированная система зажигания

пряжение, число периодов равно числу цилиндров двигателя. При положительных полупериодах напряжения, поступающих на вход, транзистор *V4* переключается в состояние насыщения, а это приводит к переключению транзисторов *V1, V2, V3* в состояние отсечки. С целью ускорения переключения транзисторов в схеме применена гибкая коллекторная обратная связь, образованная с помощью сопротивления *R5* и емкости *С3*. При переключении транзистора *V1* в состояние отсечки первичная обмотка катушки отключается от источника. Возникает затухающий колебательный процесс, и во вторичной обмотке индуцируется высокое напряжение, поступающее на распределитель.

В режиме пуска двигателя вследствие наличия колебательного контура и положительной обратной связи обеспечивается многоискровость, т. е. подача в каждый цилиндр серии искр (до пяти), что облегчает процесс пуска. При частоте вращения коленчатого вала двигателя свыше 600 об/мин многоискровость исчезает и система работает как обычная.

Для защиты транзисторного коммутатора от перенапряжений в цепи питания введена цепочка *V12—R9*. При напряжении питания свыше 18 В стабилитрон *V12* пробивается и транзистор *V4* переключается в состояние насыщения, а транзисторы *V1, V2, V3* — в состояние отсечки на все время действия перенапряжения.

В случае отказа транзисторного коммутатора или датчика схема может работать без этих приборов в аварийном режиме. Для этой цели предусмотрен аварийный вибратор *АВ*. При переходе на аварийное резервирование провод катушки зажигания с клеммы *X1* коммутатора переключается на клемму *X2* вибратора, который представляет собой электромагнитное реле с толстой обмоткой К и нормально замкнутыми контактами К1. Под действием проходящего по обмотке вибратора тока якорь притягивается и размыкает контакты. После уменьшения силы тока пру-

жина вновь замыкает контакты и сила тока в цепи возрастает. Этот процесс повторяется с частотой 250—400 Гц, что и определяет частоту генерируемых искр.

При работе системы в аварийном режиме момент зажигания определяется не датчиком, который отключен, а положением бегунка распределителя. При этом в каждый цилиндр подается серия искр.

Система зажигания с накоплением энергии в емкости. Принципиальным отличием этой системы от изложенных выше является то, что энергия, необходимая для искрообразования, накапливается не в магнитном поле катушки, а в электрическом поле конденсатора. Как известно, энергия заряженного конденсатора

$$W_э = 0{,}5CU^2,$$

где C и U — соответственно емкость и напряжение конденсатора.

Так, например, энергия конденсатора емкостью 2 мкФ, заряженного до напряжения 300 В, равна 90 мДж и приблизительно соответствует энергии, накопленной в магнитном поле катушки зажигания транзисторной системы.

В качестве коммутирующего прибора в системах зажигания с накоплением энергии в емкости используют, как правило, тиристор, поэтому такие системы называют еще тиристорными системами зажигания. В зависимости от способа накопления энергии их делят на системы с импульсным и непрерывным накоплением энергии в течение времени между разрядами.

Тиристорные системы зажигания отличаются малой длительностью разряда (50—300 мкс) и большой силой тока. Благодаря возможности быстрого подзаряда конденсатора система зажигания обеспечивает высокую частоту искрообразования (до 600 искр в секунду).

На рис. 132 приведена схема тиристорной (конденсаторной) системы зажигания. Схема содержит преобразователь *П*, выпрямитель *В*, тиристор *V3*, накопительный конденсатор *C* и катушку зажигания *T1*. С помощью транзисторного преобразователя низкое напряжение сети (аккумуляторной батареи) преобразуется в высо-

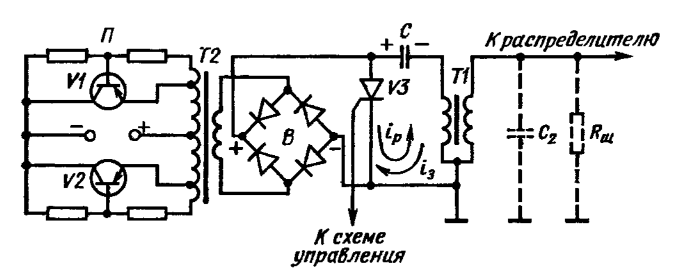


Рис. 132. Тиристорная (конденсаторная) система зажигания с питанием от батареи

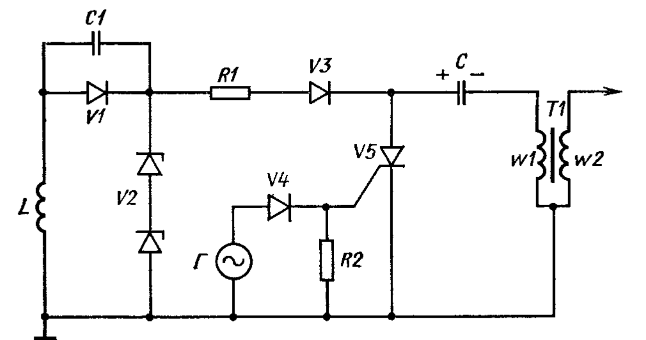


Рис. 133. Тиристорная система зажигания мотоцикла с питанием от генератора переменного тока (L — обмотка генератора; C — накопительный конденсатор; Г — обмотка датчика управляющих импульсов)

кое напряжение (300—400 В) переменного тока. Переменное высокое напряжение выпрямляется и подается через первичную обмотку катушки для заряда накопительного конденсатора. Тиристор находится в состоянии отсечки. При подаче сигнала на управляющий электрод тиристора от контактного или бесконтактного датчика (на схеме не показан) тиристор переключается в состояние насыщения и конденсатор разряжается на катушку зажигания.

Максимальное вторичное напряжение зависит от электростатической энергии в накопительном конденсаторе C. Полагая, что при включении тиристора вся запасенная в первом контуре энергия трансформировалась во вторичный контур, можно записать

$$0{,}5C_1U_{1м}^2 = 0{,}5C_2U_{2м}^2,$$

откуда

$$U_{2м} = U_{1м}\sqrt{\frac{C_1}{C_2}} = U_{1м}\,(k_т^2)_{опт},$$

где $(k_т)_{опт}$ — оптимальный коэффициент трансформации.

Учитывая, что значение индуктивности обмотки катушки зажигания в накоплении энергии невелико, обмотки могут быть значительно меньше тех, которые применяют в системах зажигания с накоплением энергии в индуктивности. Это позволяет увеличить частоту переходного процесса и пренебречь влиянием шунтирующих сопротивлений на величину вторичного напряжения.

Указанные особенности свидетельствуют о большей универсальности системы, малой чувствительности ее к нагарообразованию на свечах, что позволяет использовать ее на двигателях, имеющих склонность к нагарообразованию на свечах (роторно-поршневых).

Разновидностью тиристорной системы зажигания является система с питанием от источника переменного тока (катушки маховичного генератора). На рис. 133 приведена схема такой системы зажигания, используемая на отечественных мотоциклах.

Переменное напряжение, снимаемое с катушки L генератора переменного тока выпрямляется диодом $V1$ и ограничивается ста-

билинтронами $V2$. Накопительный конденсатор C заряжается через первичную обмотку $W1$ катушки зажигания $T1$, как это было описано. Открывается тиристор $V5$ положительным импульсом магнитоэлектрического датчика $Г$. Накопительный конденсатор C разряжается через тиристор $V5$, и во вторичной обмотке $W2$ индуцируется высокое напряжение.

Конструкция транзисторного коммутатора типа ТК102 показана на рис. 134. Все элементы транзисторного коммутатора смонтированы в литом алюминиевом корпусе *1*, имеющем ребристую наружную поверхность для увеличения теплоотдачи. Общая площадь наружной поверхности коммутатора составляет 470 см^2. Необходимость интенсивного отвода теплоты вызвана применением в схеме германиевого транзистора. Чтобы транзистор не перегревался, температура окружающей среды не должна превышать 65° С.

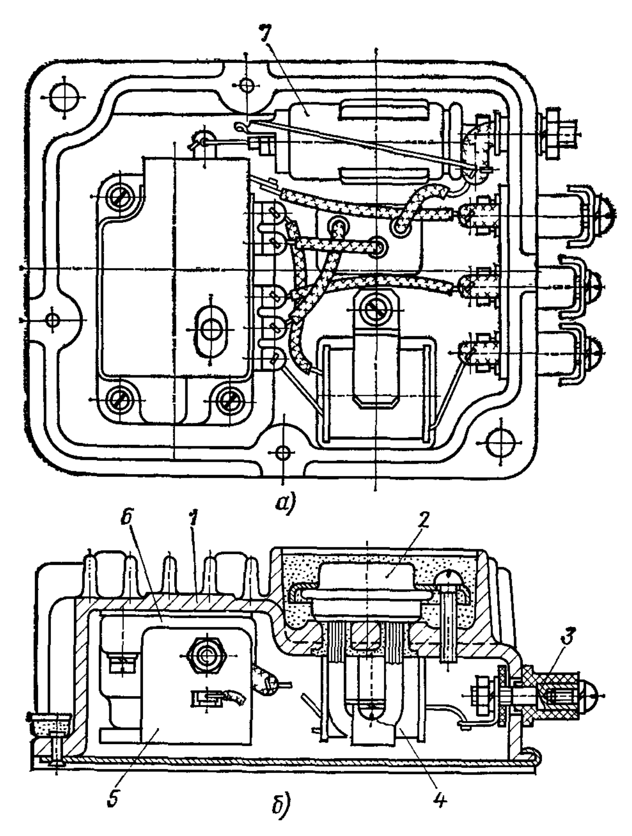


Рис. 134. Транзисторный коммутатор типа ТК102 на германиевом транзисторе:

а — вид сверху со снятой крышкой; *б* — разрез

Корпус отлит под давлением из алюминиевого сплава АЛ2, который имеет хорошие литейные свойства, хорошо обрабатывается, характеризуется высокой теплопроводностью и коррозионной стойкостью. Транзистор *2* закреплен снаружи в специальной горловине. До недавнего времени в целях герметизации его заливали полиэфирным компаундом К115. В настоящее время заливку не производят. Корпус транзистора непосредственно соприкасается с поверхностью коммутатора. Контактирующая поверхность корпуса обработана для улучшения теплопередачи.

Элементами защиты транзистора от перенапряжения являются следующие: конденсатор *С2*, диод *V2*, кремниевый стабилитрон *V1* (см. рис. 130, *а*). Конструктивно они объединены в общий блок защиты *6* (рис. 134), залитый полиэфирным компаундом в целях повышения надежности. Этот узел прикреплен к корпусу тремя винтами. Стабилитрон *V1* (Д817-В), по которому могут протекать значительные токи (до 5—10 А) при ограничении ЭДС самоиндукции первичной обмотки, имеет радиатор *5*. Напряжение стабилизации стабилитрона составляет 82 В, максимально допустимая температура корпуса 130° С. Германиевый силовой диод (Д7Ж или Д226Г) рассчитан на максимальную амплитуду обратного напряжения 150 В (при температуре до 80° С).

Электролитический конденсатор *7* емкостью 1 мкФ размещен отдельно и закреплен пружинной скобой. Импульсный трансформатор *4* состоит из пластмассового каркаса, на котором намотаны две обмотки. Первичная обмотка трансформатора имеет 50 витков провода марки ПЭЛ диаметром 0,72 мм. Вторичная обмотка состоит из 150 витков провода марки ПЭЛ диаметром 0,32 мм. Конец первичной обмотки и начало вторичной соединены вместе. Разомкнутый магнитопровод трансформатора состоит из 15 пластин электротехнической стали. После сборки трансформатор пропитывают шеллачным лаком. К корпусу он прикреплен пружинным держателем.

Клеммовая колодка *3* имеет выводы Р и К и безымянный. На корпусе имеется массирующая клемма.

Внутренний монтаж выполнен с использованием медной проволоки диаметром 0,8 мм и припоя ПОССу-40-2. Снизу коммутатор закрыт плоской металлической крышкой.

Блок добавочных резисторов СЭ107 имеет металлический корпус, в котором размещены два керамических каркаса со спиралями из константановой проволоки диаметром 0,7 мм. Каждая секция имеет сопротивление 0,52 Ом. Концы спиралей приклепаны к пластинам, которые в свою очередь соединены с клеммами. Для улучшения охлаждения спиралей в нижней и верхней частях корпуса имеются щели.

Прерыватель-распределитель отличается от используемого в батарейной системе зажигания тем, что в нем отсутствует первичный конденсатор.

§ 25. Системы зажигания от магнето

Основной частью системы зажигания от магнето является магнето высокого напряжения. В магнето конструктивно объединены генератор переменного тока низкого напряжения с возбуждением от постоянных магнитов, трансформатор и прерыватель с распределителем. Искровое зажигание от магнето не нуждается в постороннем источнике электрической энергии и поэтому находит преимущественное распространение там, где он отсутствует.

По конструкции и способу выполнения магнитной системы существующие магнето значительно различаются между собой, однако принцип действия всех магнето одинаковый. Любой тип магнето высокого напряжения состоит из следующих основных частей:

магнитной системы, включающей магнит (двухполюсный или многополюсный) и магнитопровод;

трансформатора с шихтованным сердечником и двумя намотанными на него обмотками (первичной и вторичной);

прерывательного механизма;

распределителя высокого напряжения.

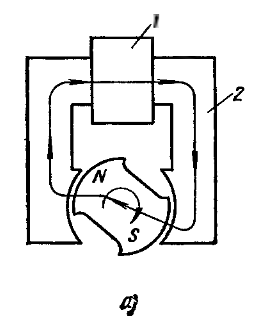
Применяемые в настоящее время магнето по способу выполнения магнитной системы могут быть разделены на два основных типа:

с вращающимся постоянным магнитом (рис. 135, *а*);

с вращающимся магнитным коммутатором (рис. 135, *б*).

Первый тип магнето имеет неподвижный П-образный шихтованный магнитопровод, между полюсными наконечниками которого вращается двух- или многополюсный магнит. В магнето с вращающимся магнитом за один оборот ротора магнитный поток, проходящий через сердечник с обмотками, меняет направление столько раз, сколько полюсов у магнита. Столько же возникает и искр.

У магнето с вращающимся коммутатором постоянные магниты неподвижны, а вращается магнитный коммутатор, выполненный из листов электротехнической стали. При вращении коммутатора



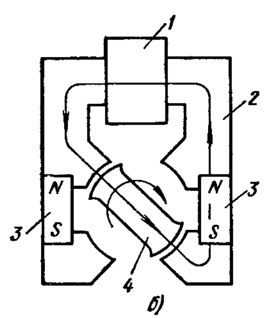


Рис. 135. Схемы магнитных цепей магнето:

а — с вращающимся магнитом; *б* — с вращающимся магнитным коммутатором; *1* — трансформатор; *2* — магнитопровод; *3* — магнит; *4* — магнитный коммутатор

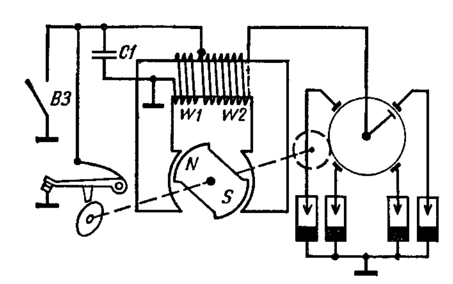


Рис. 136. Электрическая схема магнето

изменяются величина и направление магнитного потока в сердечнике трансформатора. В магнитной цепи, показанной на рис. 135, *б*, изменение направления магнитного потока происходит через каждые 90°, что соответствует четырем искрам за один оборот. Изменяя форму магнитопровода и коммутатора, можно получить магнето с большим числом искр за один оборот якоря.

Принципиальная схема магнето с вращающимся магнитом показана на рис. 136. Ротор и первичная обмотка *W1* статора вместе с магнитной системой представляет собой генератор переменного тока низкого напряжения. Один конец первичной обмотки соединен с массой (корпусом магнето), а второй — с подвижным контактом прерывателя. Неподвижный контакт соединен с массой, поэтому при замыкании контактов первичная обмотка закорачивается.

Параллельно контактам присоединен конденсатор *C1* емкостью 0,16—0,25 мкФ. Обмотки *W1*, *W2* являются обмотками трансформатора. Вторичная обмотка одним концом соединена с первичной обмоткой, а вторым с бегунком распределителя. Кулачок прерывателя насажен на одну ось с магнитом, бегунок приводится во вращение через зубчатую передачу.

При вращении ротора магнето обмотка *W1* статора генератора переменного тока (она же первичная обмотка трансформатора) находится в переменном магнитном поле и в ней индуцируется переменная ЭДС (10—20 В). Во вторичной обмотке *W2* трансформатора также индуцируется относительно небольшая ЭДС (1000—1500 В), недостаточная для искрообразования в свече.

При замкнутых контактах прерывателя по первичной обмотке протекает ток короткого замыкания, достигающий нескольких ампер. Этот ток создает свое магнитное поле (магнитное поле якоря), взаимодействующее с магнитным потоком постоянных магнитов. По достижении первичным током максимального значения контакты прерывателя размыкаются. При резком изменении силы тока и, следовательно, связанного с ним потока якоря (поток, созданный постоянным магнитом, остается тем же) в обоих обмотках индуцируется ЭДС. Напряжение первичной обмотки достигает 150—300 В, а вторичной 10—20 кВ.

С помощью распределителя высокое напряжение распределяется по свечам. Конденсатор *C1* выполняет те же функции, что и в батарейной системе зажигания. Выключается зажигание закорачиванием прерывателя кнопочным выключателем зажигания ВЗ, устанавливаемым на самом магнето.

Рабочий процесс магнето состоит из двух чередующихся режимов работы: холостого хода (разомкнутое состояние контактов) и короткого замыкания (замкнутое состояние контактов).

Изменение магнитного потока Φ_0, проходящего через сердечник с обмотками, и ЭДС первичной обмотки e_1 при вращении ротора магнето и разомкнутых контактах прерывателя показано на рис. 137. При начальном положении ротора $\alpha = 0$ магнитное сопротивление минимальное, а магнитный поток максимальный, ЭДС $e_1 = 0$. С поворотом ротора полюсы магнита выходят из полюсных наконечников, магнитное сопротивление увеличивается, а магнитный поток уменьшается. Когда ротор повернется на 90°

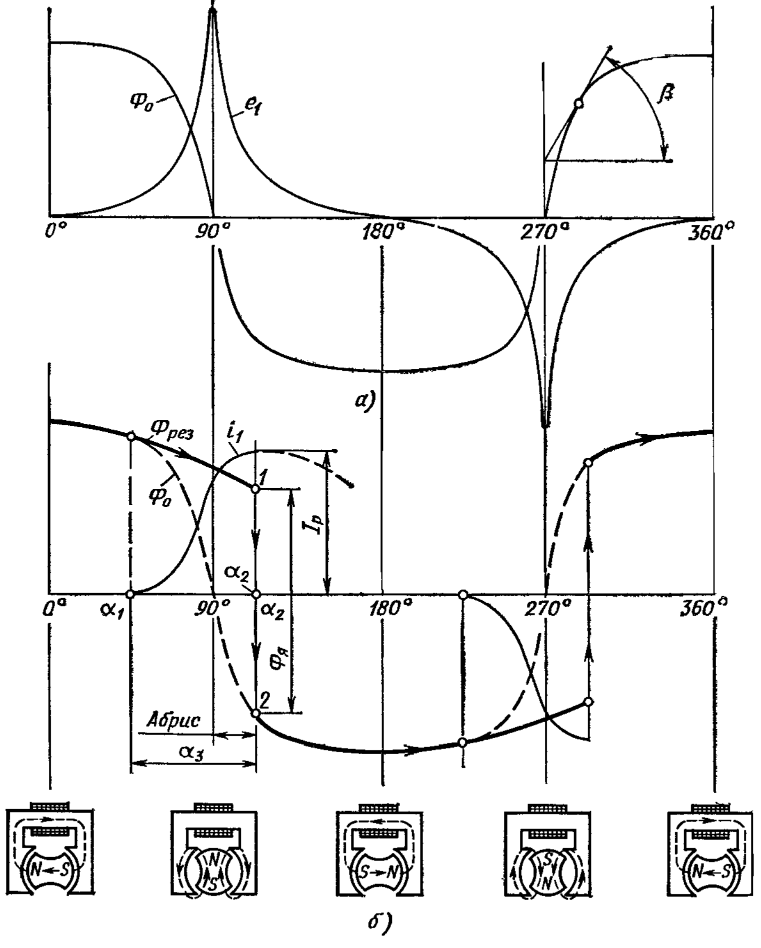


Рис. 137. Зависимости магнитного потока в сердечнике магнето, ЭДС, индуцированной в первичной обмотке, от угла поворота ротора;

а — холостой ход; *б* — рабочий режим

магнитный поток, проходящий через сердечник, станет равным нулю. Дальнейшее вращение ротора приводит к изменению направления потока и увеличению его значения. При повороте ротора на 180° поток становится максимальным, а на 360° — магнитный поток завершает полный цикл (период) изменения.

ЭДС, индуцируемая в первичной обмотке трансформатора магнето, в соответствии с законом электромагнитной индукции пропорциональна скорости изменения магнитного потока

$$e_1 = -w_1 \frac{d\Phi}{dt}.$$

Скорость изменения магнитного потока будет максимальной при $\alpha = 90$ и 270°, поэтому и ЭДС при этих положениях ротора будет также достигать максимального значения.

Если первичная обмотка замкнута, то по ней будет протекать ток i_1. Поскольку первичная обмотка кроме активного сопротивления имеет и индуктивность, то этот ток будет отставать по фазе от вызвавшей его ЭДС. Максимум на кривой силы тока будет смещен относительно максимума ЭДС на определенный угол. Кроме того, кривые ЭДС и силы тока несинусоидальны.

В действительности электрическая цепь магнето не остается замкнутой, а периодически размыкается и замыкается накоротко. При очередном замыкании контактов (угол α_1, рис. 137, *б*) индуцированная ЭДС вызывает в первичной обмотке силу тока, которая увеличивается по мере увеличения ЭДС. Однако из-за наличия индуктивности обмотки сила тока достигает максимального значения несколько позже, чем ЭДС. Ток i_1 создает свой магнитный поток реакции якоря $\Phi_я$, который имеет такое направление, что при повороте ротора стремится сохранить первоначальный поток в сердечнике.

В момент, когда сила тока i_1 достигает максимального значения, прерыватель размыкает цепь, и сила тока резко уменьшается до нуля, совершая несколько затухающих колебаний, также как в батарейной системе зажигания. Резкое уменьшение первичного тока вызывает такое же изменение результирующего магнитного потока $\Phi_{рез}$ (точка *1*) до Φ_0 (точка *2*), что приводит к индуцированию высокого напряжения во вторичной обмотке.

Для получения в магнето максимальной величины вторичного напряжения необходимо, чтобы первичная цепь разрывалась в момент достижения i_{1max}, что соответствует вполне определенному положению ротора относительно полюсов статора.

Угол, определяющий положение ротора магнето в момент размыкания контактов прерывателя, называют *абрисом магнето*. Абрис измеряют углом, показанным на рис. 137, *б*. Наивыгоднейшую величину абриса определяют опытным путем, и для магнето различных типов она неодинаковая. При неправильной установке абриса сила тока разрыва снижается (рис. 138), а следовательно, уменьшается и $U_{2м}$. При значительном отклонении абриса

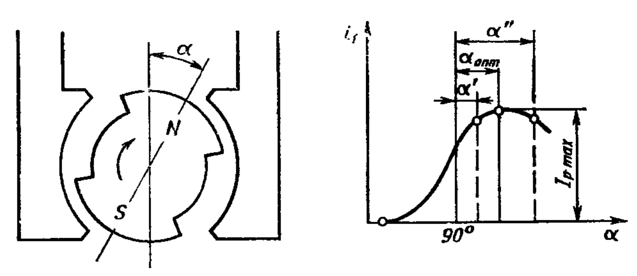


Рис. 138. Влияние абриса α на силу тока разрыва $I_р$

от наивыгоднейшего значения магнето не будет пробивать искрового промежутка свечи. В этом случае необходимо установить абрис в соответствии с требованиями завода-изготовителя.

Формула (57) вторичного напряжения для батарейного зажигания справедлива и для магнето. Но если в батарейной системе зажигания сила тока разрыва $I_р$ уменьшается с ростом частоты вращения, то в магнетном зажигании $I_р$ возрастает с увеличением частоты вращения, так как возрастает ЭДС. При большой частоте вращения индуктивное сопротивление первичной обмотки ωL_1 сильно возрастает и ограничивает дальнейший рост силы тока разрыва.

Величина магнитого потока, который может быть создан в магнето, зависит от размеров и качества материала магнита, определяемого коэрцитивной силой и остаточной магнитной индукцией. Постоянные магниты магнето изготовляют из сплавов на основе железо—никель—алюминий с добавкой кобальта или титана. Коэрцитивная сила таких магнитов составляет 400—600 А/см, а остаточная индукция 0,5—0,9 *Т*.

В настоящее время магнето на автомобильных двигателях не применяют. Современные отечественные тракторы и комбайны оснащают дизельными двигателями, пуск которых осуществляется с помощью карбюраторных пусковых двигателей, которые имеют магнетное зажигание. Для этих целей используют малогабаритные магнето типов М 22, М 24, М 27, М 48, М 124 и др. Эти типы магнето и их модификации различаются направлением вращения, приводным устройством, расположением вывода высокого напряжения, количеством искр за один оборот.

На рис. 139 показана конструкция одноискрового малогабаритного магнето типа М22. Вращающийся магнит *6* из стали ЖНАТ-2 снабжен полюсными наконечниками *7* и залит вместе с двумя концами вала цинковым сплавом. Полюсные башмаки *10* заформованы в корпусе *9* магнето при литье. Полюсные наконечники магнита *6*, сердечник *11* трансформатора и полюсные башмаки *10* выполнены шихтованием из листов электротехнической стали. Трансформатор *1* имеет первичную ($w_1 = 160$ витков, $d_1 =$ $= 0{,}75$ мм) и вторичную ($w_2 = 13\,000$ витков, $d_2 = 0{,}07$ мм)

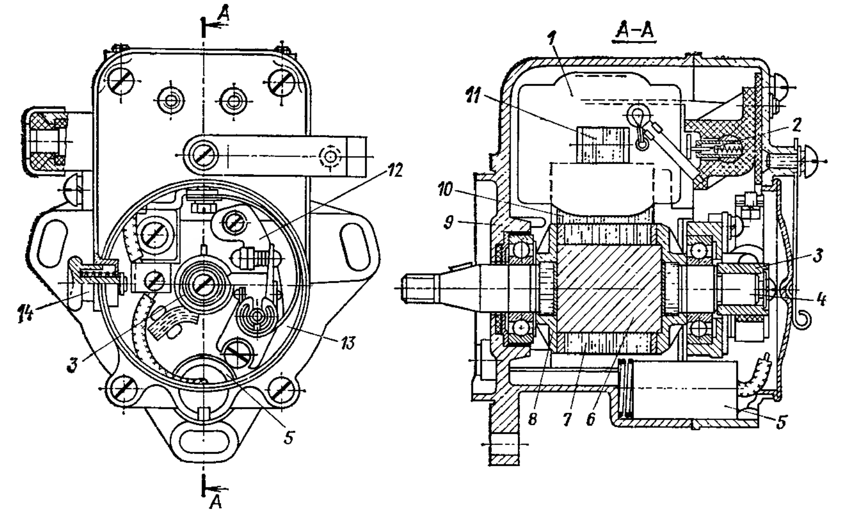


Рис. 139. Магнето типа М22

медные обмотки, намотанные одна над другой. Конденсатор *5* расположен в специальном гнезде. Прерыватель *12* смонтирован на пластине *13*, он аналогичен прерывателю батарейной системы зажигания.

Привод магнето осуществляется с помощью жесткой муфты или муфты, конструктивно объединенной с центробежным автоматом опережения зажигания. В данной конструкции магнето, предназначенного для одноцилиндрового двигателя, кулачок *3* имеет один выступ. Он насажен на конец вала *4*. Ток высокого напряжения через пружинящий контакт *2* и провод высокого напряжения подводится прямо к свече. Кнопка *14* предназначена для выключения магнето. В двухискровых магнето (например, М47Б) для двухцилиндровых двигателей кулачок имеет два выступа. Ток высокого напряжения в таких магнето распределяется по цилиндрам через бегунок, насаженный на кулачок прерывателя и изоляционную крышку с двумя выводами.

Регулирование момента зажигания в магнето может быть ручным и автоматическим.

На двигателях, работающих с переменной частотой вращения, применяют автоматические центробежные регуляторы опережения зажигания, устанавливаемые в приводных муфтах. В этих случаях абрис всегда остается неизменным и оптимальным.

В магнето, устанавливаемых на двигателях с постоянной частотой вращения, предусмотрена ручная регулировка момента зажигания путем поворота пластины прерывателя вместе с прерывателем вокруг оси вращения кулачка, но при этом одновременно изменяется абрис (см. рис. 138), что нежелательно, так как приводит к снижению вторичного напряжения.

В качестве автоматических регуляторов опережения зажигания, не имеющих указанного недостатка, широко применяют центробежные регуляторы, устанавливаемые в приводных муфтах. Регулирование осуществляется поворотом ведомой части муфты относительно ведущей под действием центробежных сил подпружиненных грузиков, расположенных в самой муфте.

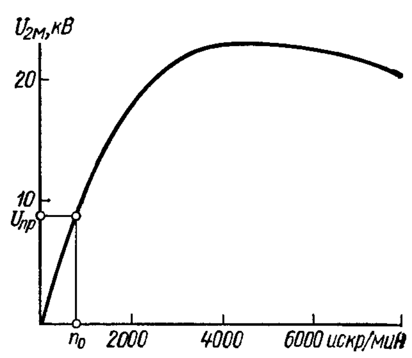


Рис. 140. Зависимость вторичного напряжения $U_{2м}$ от частоты вращения ротора магнето n

Характеристика магнето такова, что необходимое для пробоя искрового промежутка напряжение может быть получено лишь при достаточно высокой частоте вращения n_0 ротора магнето (рис. 140). Чтобы облегчить пуск двигателя на магнето устанавливают специальное вспомогательное устройство — пусковой ускоритель, который состоит из двух полумуфт, связанных между собой пружиной. При медленном вращении двигателя ведомая полумуфта остается неподвижной до определенного момента, после чего собачка ее освобождает и ротор резко проворачивается на 45°, обеспечивая искрообразование. После пуска двигателя полумуфты блокируются центробежным устройством и вращаются как одно целое.

Для малолитражных лодочных и мотоциклетных двигателей с наружным маховиком используют маховичное магнето. Ротор такого магнето выполнен из немагнитного материала в виде маховика, в котором залиты кольцевые магниты (рис. 141). Неподвижная часть магнето расположена внутри маховика и состоит из сердечника 1, на котором намотаны первичная и вторичная обмотки. Первичная обмотка, так же как и в обычном магнето, периодически замыкается прерывателем. Имеющаяся внутри корпуса обмотка 2 низкого напряжения предназначена для питания потребителей. Такая комбинированная электрическая машина называется магдино.

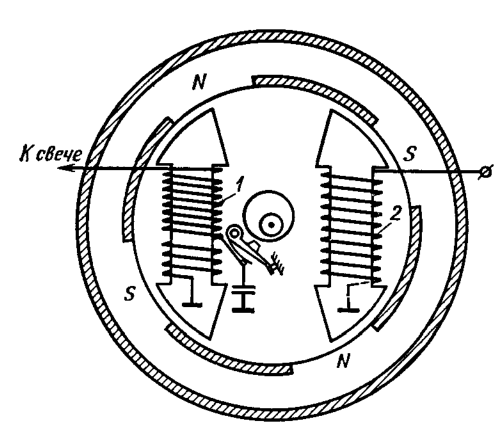


Рис. 141. Маховичное магнето:

1 — обмотка трансформатора магнето; *2* — обмотка генератора переменного тока

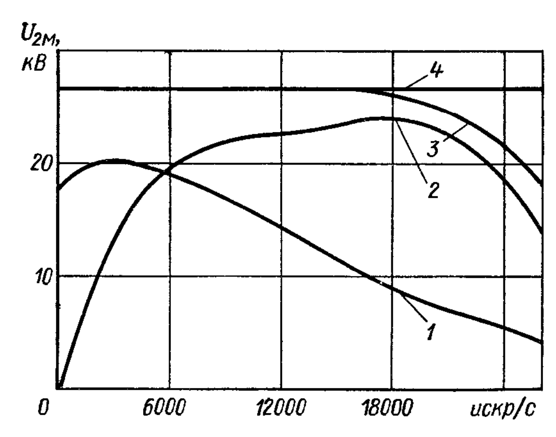


Рис. 142. Рабочие характеристики различных систем зажигания:

1 — батарейной; 2 — магнетной; 3 — контактно-транзисторной; 4 — бесконтактно-тиристорной с накоплением энергии в емкости

Магнето, или магдино, представляет собой генератор переменного тока с возбуждением от постоянных магнитов, работающий в режиме короткого замыкания. Так же как в генераторе переменного тока с самоограничением, кривая силы тока разрыва магнето по мере увеличения частоты вращения сначала нарастает линейно и круто, а затем более полого, стремясь при $n \rightarrow \infty$ к некоторому пределу. Такой же характер изменения имеет и напряжение $U_{2м}$. Практически при большой частоте вращения происходит снижение $U_{2м}$ вследствие повышенных потерь и вибрации контактов.

Из сравнения рабочих характеристик различных систем зажигания (рис. 142) видно, что вторичное напряжение у электронных систем выше, чем у батарейной и магнетной, и при необходимости может быть увеличено еще больше, так как здесь нет принципиальных ограничений. Напряжение тиристорной системы зажигания при изменении частоты вращения остается постоянным, так как накопительный конденсатор успевает зарядиться до максимального значения напряжения, даже при максимальной частоте вращения.

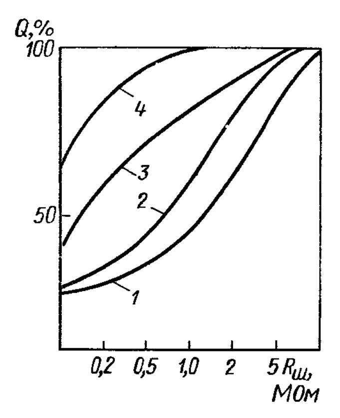


Рис. 143. Влияние величины шунтирующего сопротивления $R_ш$ на снижение вторичного напряжения (Q в %):

1 — классической; 2 — транзисторной; 3 — магнетной; 4 — тиристорной

Снижение напряжения контактных систем происходит вследствие дугообразования (малая скорость) или вибрации контактов (большая скорость). В контактно-транзисторной системе потери на дугообразование отсутствуют из-за малой силы тока, разрываемого контактами.

Батарейная система зажигания обеспечивает до 18 000, контактно-транзисторная до 21 000 и бесконтактная

до 40 000 искр в минуту. Плохие пусковые свойства магнетной системы обусловлены малой ЭДС вращения, генерируемой магнето при пусковой частоте вращения.

Батарейная и транзисторная системы зажигания имеют примерно одинаковую чувствительность к величине $R_ш$ (рис. 143), тогда как тиристорная система не теряет своих свойств при значении $R_ш$ вплоть до 0,1 МОм вследствие быстрого нарастания напряжения. Искра имеет малую длительность и большую силу тока. Зажигание от магнето является промежуточным между транзисторной и тиристорной системами зажигания.

Чем выше частота вращения двигателя, тем большее число раз в секунду энергия передается свечам. В тиристорной системе зажигания количество накапливаемой во время каждого цикла энергии остается неизменным при различной частоте вращения. А так как при повышении частоты вращения число импульсов энергии в единицу времени возрастает, то растет и потребляемая мощность.

В батарейной и транзисторной системах потребление энергии зависит от силы тока разрыва, который с увеличением частоты вращения уменьшается. Этим и объясняется характер зависимости кривых потребляемой мощности. В транзисторной системе зажигания расходуется мощность в 3—4 раза больше, чем в батарейной.

§ 26. Расчет элементов батарейной системы зажигания

Катушка зажигания. В большинстве систем зажигания с накоплением энергии в индуктивности катушка зажигания выполняет функции накопителя энергии и преобразователя низкого напряжения в высокое. Правильно спроектированная катушка зажигания должна отвечать следующим требованиям:

обеспечивать достаточное для пробоя искрового промежутка высокое напряжение с определенным запасом;

обеспечивать искровой разряд в свече необходимой энергии и длительности;

иметь минимальную стоимость.

В техническом задании на проектирование катушки зажигания обычно указаны следующие параметры:

1) число цилиндров двигателя Z;

2) величина пробивного напряжения $U_{пр}$, соответствующая различной рабочей и пусковой частоте вращения вала распределителя;

3) коэффициенты запаса вторичного напряжения для рабочего $k_{зр}$ и пускового $k_{зп}$ режимов;

4) напряжение питания системы зажигания в рабочем $U_б$ и пусковом $U_{бп}$ режимах;

5) величины эквивалентных емкостных $C_э$ и омических $R_э$ шунтирующих нагрузок цепи;

6) температура обмоток (окружающей среды) для рабочего $\theta_р$ и пускового $\theta_п$ режимов.

Кроме перечисленных могут быть оговорены дополнительные условия, такие, как тип магнитопровода, материал кожуха, место размещения добавочного сопротивления и др.

Расчет катушки зажигания состоит в определении электромагнитных параметров, геометрии ее элементов и обмоточных данных, построении рабочей характеристики.

К электромагнитным параметрам относятся следующие:

оптимальная индуктивность первичной обмотки;

оптимальный коэффициент трансформации;

сопротивление элементов первичной цепи (первичной обмотки и добавочного сопротивления).

Основной расчетной формулой является известная формула (57), которую можно привести к виду

$$k_I = \frac{U_{2м}}{I_р} = k_м k_т \sqrt{\frac{L_1}{C_э}}\, e^{-\frac{\operatorname{arctg}\sqrt{\frac{4R_э^2 C_э}{L_1}-1}}{\sqrt{\frac{4R_э^2 C_э}{L_1}-1}}},$$

где $k_м$ — коэффициент магнитной связи.

Чем лучше подобраны параметры катушки, тем выше коэффициент тока k_I. Расчет проводят следующим образом.

1. По формуле (57) рассчитывают, а затем строят зависимости коэффициента тока от коэффициента трансформации $[k_I = f(k_т)]$ для различных значений индуктивностей L_1, например 6, 8, 10, 12 мГ. Коэффициент магнитной связи для катушек с разомкнутой магнитной цепью можно принять равным 0,85—0,9.

Суммарную эквивалентную емкость подсчитывают по формуле (58), обычно емкость первичного конденсатора $C_1 = 0{,}2 \div 0{,}35$ мкФ. Вторичная емкость C_2 состоит из собственной емкости вторичной обмотки катушки зажигания $C_к$ и емкости $C_ш$, шунтирующей вторичный контур. В свою очередь шунтирующая емкость определяется емкостями элементов вторичной цепи (провод, распределитель, свеча). Если емкость $C_к$ неизвестна, то ее можно принять равной 30—50 пФ. Шунтирующая емкость $C_ш$ может быть принята следующей:

для четырехцилиндрового двигателя 35 пФ;

для шестицилиндрового двигателя 50 пФ;

для восьмицилиндрового двигателя 75 пФ.

Шунтирующая емкость экранированной системы зажигания составляет 170—220 пФ. Сопротивление потерь $R_п$ (Ом) можно определить по эмпирической формуле

$$R_п = 600 k_т^2.$$

Расчетную величину шунтирующего сопротивления $R_ш$ свечи можно взять из табл. 9.

Таблица 9

Расчетные величины шунтирующего сопротивления $R_ш$

Частота вращения двигателя, об/мин	Неэкранированная система зажигания	Экранированная система зажигания
40—60	3,0	1,0
150—200	—	3,0
Разгон	3,0	1,0

На рис. 144, *а* показано семейство кривых характеристик $k_I = f(k_т)$ для различных индуктивностей. Для каждой индуктивности имеется максимальное значение коэффициента тока при определенном коэффициенте трансформации катушки зажигания (точки *a*, *b*, *c*, *d*, рис. 144, *а*). Это позволяет установить зависимость $L_1 = f(k_т)$, когда коэффициент тока имеет максимальное значение (линия *a* — *d*, рис. 144, *а*). Минимально допустимое значение $k_т$ можно установить, ограничив максимальное напряжение на контактах до максимального первичного напряжения

$U_{1доп} = U_{2м}/k_т$.

Из опыта известно, что по условиям работоспособности контактов прерывателя напряжение $U_{1м}$ не должно превышать 300—400 В, тогда

$$k_{т\min} = \frac{U_2}{300 \div 400},$$

где $U_2 = U_{пр}k_з + 1{,}5$ — расчетное (требуемое) вторичное напряжение с учетом преодоления искрового зазора в распределителе (1,5 кВ), кВ.

2. В соответствии с линией *a* — *d* (рис. 144, *а*) строят график $L_1 = f(k_т)_{опт}$ (рис. 144, *б*) и наносят на него ограничивающую линию $k_{т\min}$.

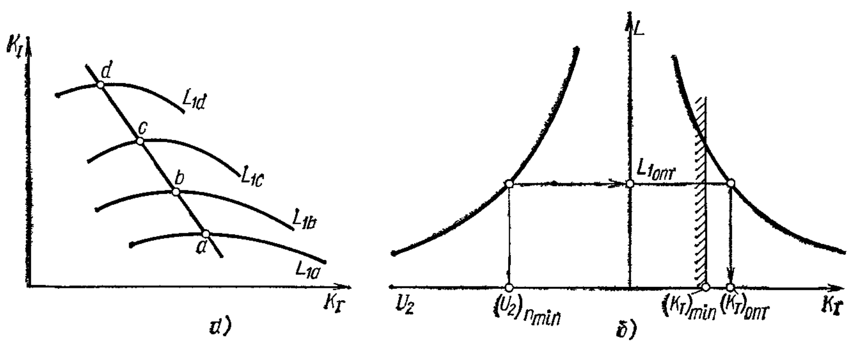


Рис. 144. Определение электромагнитных параметров катушки зажигания:

а — линии наивыгоднейших значений коэффициентов трансформации; *б* — определение значений индуктивности и коэффициента трансформации $k_{т.опт}$

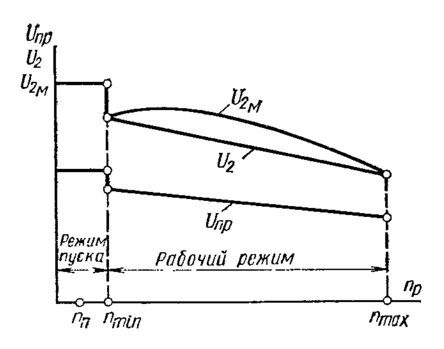


Рис. 145. Характеристика системы зажигания

3. Для нормальной работы системы зажигания необходимо, чтобы развиваемое катушкой напряжение $U_{2м}$ на всем диапазоне скоростного режима соответствовало расчетному U_2, т. е.

$U_{2м} \approx U_2$ или $U_{2м} \approx U_{пр}k_з + 1{,}5.$

Практически достаточно, если кривые будут совпадать в крайних точках скоростного режима (рис. 145.)

Кривую для U_2 строят на основании известных величин $U_{пр}$ и $k_з$ для различных точек скоростного режима.

Кривая значений $U_{2м}$ будет пересекать кривую U_2 в точках n_{min} и n_{max} в том случае, если входящую в расчетную формулу постоянную времени $T_1 = L_1/R_1$ определяют из выражения

$$T_1 = \frac{(t_з)_{n\ max}}{\ln\left(1 - \frac{(U_2)_{n\ max}\, k_{дn\ min}}{(U_2)_{n\ min}}\right)},$$

где $k_{дn\ min}$ — коэффициент дуги, учитывающий снижение силы тока разрыва в результате потерь на искрообразование в контактах при n_{min}.

4. По известной величине T_1 определяют ряд значений R_1, соответствующих различным L_1, принятым при подсчете k_i:

$R_1 = L_1/T_1,$

а также силу тока разрыва $I_р$ при n_{min}.

Пренебрегая сомножителем $(1 - e^{-t/T_1})$ в формуле (54), получаем

$$I_{рn\ min} = \frac{U_б}{R_1}\, k_{дn\ min} = U_б \frac{T_1}{L_1}\, k_{дn\ min} \quad (59)$$

5. Умножая полученные значения $I_р$ на соответствующие коэффициенты k_i, находят

$$(U_{2м})_{n\min} = k_i I_{рn\ min}. \quad (60)$$

Используя формулы (59) и (60), получают непосредственную зависимость между $(U_{2м})_{n\ min}$ и L_1:

$$(U_{2м})_{n\min} = U_б \frac{T_1}{L_1}\, k_i k_{дn\ min}.$$

По вычисленным по этой формуле значениям L_1 и $U_{2м}$ строят зависимость $(U_{2м})_{n\ min} = f(L_1)$ (см. рис. 144, *б*, левая часть).

Отложив по оси $U_{2м}$ значение $(U_{2м})_{n\ min}$, равное расчетному $(U_2)_{n\ min}$, графически определяют L_1 и $(k_i)_{опт}$ (см. рис. 144, *б*),

а также k_l (см. рис. 144, *а*). При найденных параметрах обеспечиваются необходимые величины и закон изменения $U_{2м}$ при максимальном использовании катушки зажигания.

6. Значения R_1 и $I_{рл\ min}$, соответствующие найденным параметрам, определяют по формулам (59) и (60).

Полученное значение $I_р$ (при $k_д = 1$) не должно превышать допустимой силы тока разрыва, приведенной в табл. 10. Аналогично проводят проверку и для режима пуска.

Таблица 10

Значения допустимой силы тока разрыва

Номинальное напряжение, В	Сила тока разрыва $I_р$, А	
	при пуске	в рабочем режиме
6	8,0	5,5
12	6,0	3,5
24	4,0	2,0

Найденная величина R_1 является суммой сопротивлений первичной обмотки $R_{wг}$ в горячем состоянии и добавочного сопротивления $R_д$:

$$R_1 = R_{wг} + R_д.$$

Во время пуска двигателя сопротивление $R_д$ закорочено, и к первичной обмотке приложено напряжение аккумуляторной батареи, которое в момент электростартерного пуска уменьшается до 8—10 В (при номинальном напряжении 12 В). Пренебрегая нагревом обмотки в процессе пуска, можно написать ($U_{дп} = 2/3\ U_б$)

$$R_w = \frac{2/3 U_б k_l k_{дп}}{U_{2п}},$$

где $k_{дп}$ — коэффициент дуги при пусковой частоте вращения; $U_{2п}$ — расчетное напряжение при пусковой частоте вращения.

Далее находят $R_д$ по формуле

$$R_д = R_1 - R_{wг} = R_1 - R_w [1 - \alpha_м (\theta_р - 20)],$$

где $\theta_р = 100 \div 120°$ С — температура обмотки в рабочем режиме.

7. Проверяют мощность потерь в катушке $P = I_р^2 R_{wг} \leqslant 30$ Вт.

8. В конце расчета электромагнитных параметров катушки строят расчетную характеристику $U_{2м} = f(n)$ по формуле

$$U_{2м} = I_р k_l = \frac{U_б}{R_1}\left(1 - e^{-\frac{\alpha_з}{6 n_р T_1}}\right) k_д k_l$$

и сравнивают ее с заданной кривой $U_2 = f(n)$. В пусковом режиме вместо $U_б$ подставляют $2/3\ U_б$, а вместо R_1 сопротивление R_w обмотки с учетом $K_{дп}$.

Если расчетные значения $U_{2м}$ при пуске, минимальной и максимальной частотах вращения достаточно хорошо совпадают с требуемым напряжением, то выполненный расчет можно считать

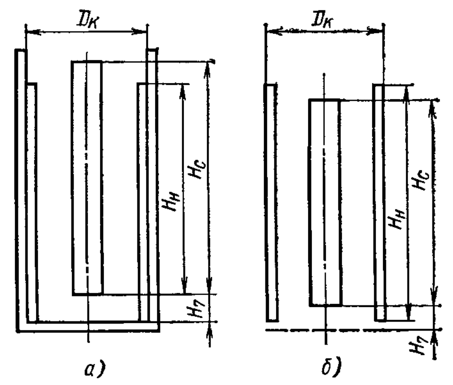


Рис. 146. Магнитопроводы катушек зажигания:

а — корпус из магнитного материала; б — корпус из немагнитного материала

приемлемым. Некоторое несовпадение кривых допустимо, особенно если кривая $U_{2м}$ проходит выше кривой U_2, как показано на рис. 145.

Определение обмоточных данных. В этой части расчета определяют размеры катушки и ее обмоточные данные, обеспечивающие выбранные ранее значения R_1, L_1 и $k_т$. При этом необходимо ориентироваться на какую-либо уже известную магнитную систему катушки зажигания или выбирать ее. В практике применяют два вида катушек зажигания с разомкнутой магнитной цепью (рис. 146).

В табл. 11 приведены основные размеры применяемых в СССР магнитных систем катушек зажигания.

Таблица 11

Основные размеры катушек систем зажигания

Материал корпуса	Тип магнитной системы	Размеры по рис. 146, мм				Типы реальных катушек, построенных по данной магнитной системе
		$D_к$	H_c	$H_н$	H_7	
Стальной	А	56	98	77	8	Б102-Б, Б115
	Б	61	93	77	8	Б114, Б114-Б, Б118
Алюминиевый	В	37	80	80	10	КМ01
	Г	56,6	100	95	7	Б117-А

Магнитные системы А и Б, так же как В и Г, различаются между собой диаметром кожуха и взаимным расположением сердечника и наружного магнитопровода. Диаметр провода первичной обмотки можно определить по следующей эмпирической формуле:

$$d_1 = 7,4 \sqrt{\frac{D_к w_1}{R_{w1}}} 10^{-3},$$

где d_1 и $D_к$ — мм R_{w1}, — Ом.

Входящее в формулу выражение w_1 может быть определено по формуле

$$w_1 = \sqrt{L_1/G_1}, \qquad (61)$$

где G_1 — условная магнитная проводимость потока, созданного первичной обмоткой катушки.

Зная L_1 и G_1 катушки, магнитная система которой взята за основу (табл. 12), или определив ее по формуле (61), можно найти число витков первичной обмотки. При этом предполагается, что обмотки проектируемой катушки зажигания будут иметь те же размеры и занимать то же место, что и в катушке, взятой за основу.

Таблица 12

Параметры и размеры катушек различных типов систем зажигания

Параметры и размеры	Б102-Б	Б114	Б115	Б117-А	Б118
R_w, Ом	1,2—1,35	0,36—0,38	1,3—2,0	3,07—3,23	1,5—1,7
$R_д$, Ом	1,55—1,65	0,52—0,52	1,0—1,1	—	1,8—1,9
L_1, мГ	7,3—8,0	3,5—3,7	9,0—9,5	11,4—11,92	6,4—7,0
w_1	290	180	330	302,5	260
w_2	18 000	41 000	225 000	23 600	30 000
d_1, м	0,86	1,25—1,30	0,72—0,78	0,53	1,04—1,12
d_2, мм	0,07	0,06—0,075	0,07—0,085	0,07	0,06—0,075
G_1, Г	$0{,}91 \cdot 10^{-7}$	$1{,}1 \cdot 10^{-7}$	$0{,}85 \cdot 10^{-7}$	$1{,}26 \cdot 10^{-7}$	$0{,}97 \cdot 10^{-7}$

Число витков вторичной обмотки определяют по формуле $w_2 = w_1 k_т$.

Диаметр провода вторичной обмотки выбирают, исходя из его механической прочности, обусловленной технологическим процессом намотки, размерами и стоимостью катушки. Как видно из таблицы, диаметр применяемого провода лежит в пределах 0,06—0,075 мм. Провод меньшего диаметра обычно используют для катушек с большим числом витков вторичной обмотки, что позволяет уменьшить ее объем, однако при этом увеличивается стоимость катушки.

Прерывательный механизм. Профиль кулачка образуется обычно сопряжением дуг окружностей и прямых. Размыкание контактов должно происходить с наибольшей скоростью, обеспечивающей быстрое гашение дуги и не допускающей при этом отрыва подушки рычажка от поверхности кулачка, а замыкание с возможно меньшей скоростью во избежание вибрации, возможной при $\alpha_р > 13 \div 15°$.

На практике применяют следующие углы замкнутого $\alpha_з$ и разомкнутого $\alpha_р$ состояния контактов:

Z	4	6	8
$\alpha_з$, °	40—55	40—47	30—32
$\alpha_р$, °	35—50	13—20	13—15

Для построения профиля кулачка необходимо знать положение характерных точек на его профиле. Рассмотрим схему взаимо-

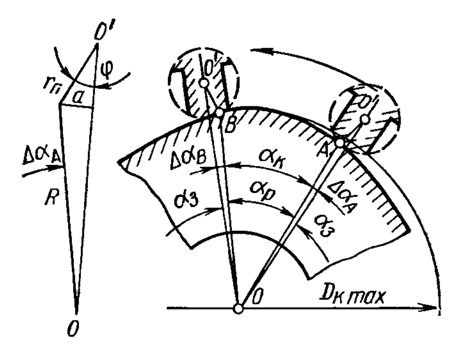


Рис. 147. Эскиз к определению дополнительных углов

действия кулачка с подушкой рычажка (рис. 147). Для наглядности будем вращать (против часовой стрелки) пластину с рычажком относительно неподвижного кулачка, а не наоборот, как это имеет место в действительности.

В точке *A* подушка рычажка войдет в соприкосновение с кулачком и контакты разомкнутся. В точке *B* в момент отрыва подушки от кулачка контакты вновь замкнутся. При этом угол $\alpha_к$ контакта по кулачку не равен углу поворота $\alpha_р$, при котором контакты находились в разомкнутом состоянии

$$\alpha_к = \alpha_р - (\Delta\alpha_А + \Delta\alpha_в).$$

Поправки углов $\Delta\alpha_А$ и $\Delta\alpha_в$, обусловленные толщиной подушки, можно найти по формуле

$$\Delta\alpha = \arcsin \frac{r_п \sin \varphi}{0{,}5D_{к\max} - \delta_п},$$

где $r_п$ — радиус подушки;
φ — угол между двумя лучами (рис. 147);
$D_{к\max}$ — диаметр кулачка по выступу;
$\delta_п$ — перемещение подушки (рабочий ход).

Если геометрия кулачка не определена, то могут быть использованы рекомендуемые значения крутизны профиля кулачка *C*, характеризующие изменение его радиуса при изменении угла на 1° в расчетных точках *A* и *B* (табл. 13).

Задавшись величиной *C* (в мкм/°) и $D_{к\max}$ (в мм), можно определить поправки (в °) (для $r_п = 3$ мм) по формуле

$$\Delta\alpha = 1{,}6 \frac{C}{D_{к\max}}. \qquad (62)$$

Для расчета $\Delta\alpha A$ в эту формулу подставляют *CA*, а для $\Delta\alpha_в$ подставляют $C_в$.

Таблица 13

Рекомендуемые значения крутизны профиля кулачка

Числ граней кулачка	$D_{к\max}$, мм	Крутизна профиля *C*, мкм/°	
		Набегающая грань, точка *A*	Сбегающая грань, точка *B*
4	18—20	30—40	20—30
6	22—25	40—50	30—40
8	24—27	45—55	35—45

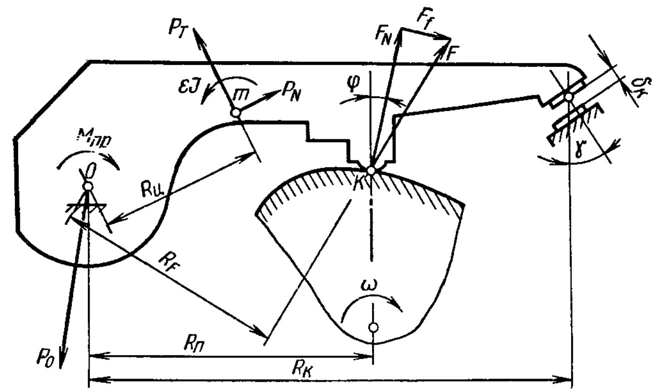


Рис. 148. Схема действия сил на рычажок прерывателя

Требуемый максимальный подъем подушки определяют по известной геометрии рычажка (рис. 148), задаваясь максимальным зазором между контактами δ_{max} (обычно 0,4 мм),

$$\delta_n = \frac{\delta_{\kappa\,max} R_\kappa}{\cos\gamma R_n}.$$

Обычно разность $D_{\kappa\,max} - D_{\kappa\,min} = 1{,}2$ мм.

Зная углы α_κ и α_p, находят положение характерных точек A и B, через которые должна проходить линия профиля. Углы наклона касательных к этим линиям в точках A и B должны соответствовать выбранным значениям C (см. табл. 13).

Удовлетворительная геометрия профиля обычно достигается сопряжением дуг окружностей с прямыми линиями. В качестве примера на рис. 149 приведен эскиз построения одного выступа кулачка прерывателя автомобиля ВАЗ.

Для окончательного выбора профиля проводят динамический расчет прерывательного механизма. Во время работы механизма на рычажок действуют следующие силы и моменты (см. рис. 148).

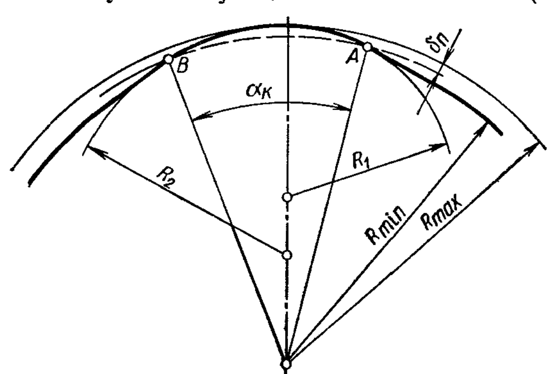


Рис. 149. Эскиз к построению профиля четырехгранного кулачка

1. Момент пружины $M_{пр}$, обеспечивающий необходимое давление в контактах в период их замкнутого состояния, а также постоянное соприкосновение подушки и кулачка в период разомкнутого состояния контактов.

2. Динамический момент ($\alpha_к$ — тангенциальное ускорение точки K)

$$M_j = -\varepsilon_р, J,$$

где $\varepsilon_р = \alpha_к/R_п$ — вращательное ускорение рычажка;

J — момент инерции рычажка относительно его центра тяжести.

3. Сила инерции P, приложенная к центру тяжести рычажка и состоящая из нормальной

$$P_N = -mR_ц\omega_р^2$$

и тангенциальной сил

$$P_т = -mR_ц\varepsilon_р,$$

где $\omega_р$ — угловая скорость рычажка;

$R_ц$ — радиус центра тяжести рычажка относительно оси его качания;

m — масса рычажка.

4. Результирующая реакция F в контакте подушки с кулачком.

5. Реакция опоры P_0 в точке вращения O рычажка.

Условием нормальной работы механизма является постоянное соприкосновение подушки рычажка с кулачком в период разомкнутого состояния контактов при ω_{max}, т. е. условие, при котором реакция $F > 0$.

Уравнение суммы моментов всех сил относительно оси вращения O имеет вид

$$M_{пр} - \varepsilon_р J - \varepsilon_р m R_ц^2 - FR_F = 0.$$

Из него получим требуемое условие

$$M_{пр} > \frac{\alpha_{к\,max}}{R_п}(J + mR_ц^2).$$

На рис. 150 приведены графики пути, скорости, ускорения центра тяжести рычажка. График пути строят на основании известного профиля кулачка. Графики $V = ds/dt$ и $\alpha = d^2s/dt^2$ получают путем графического дифференцирования графика пути по одному из известных методов.

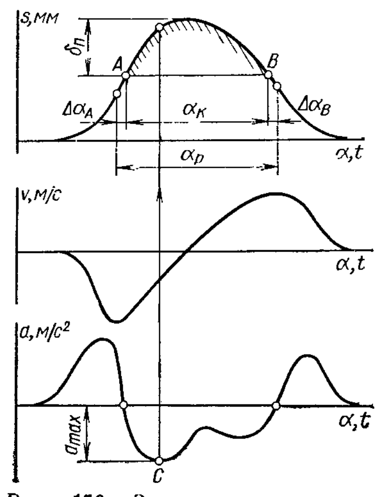


Рис. 150. Зависимости пути s, скорости v и ускорения a центра тяжести рычажка от угла α поворота кулачка (времени)

Наибольшая вероятность отрыва подушки соответствует положению, при котором отрицательное ускорение $\alpha_{\text{к max}}$ (замедление) рычажка имеет максимальное значение (точка C). Для этого положения и производят проверку на условие $F > 0$.

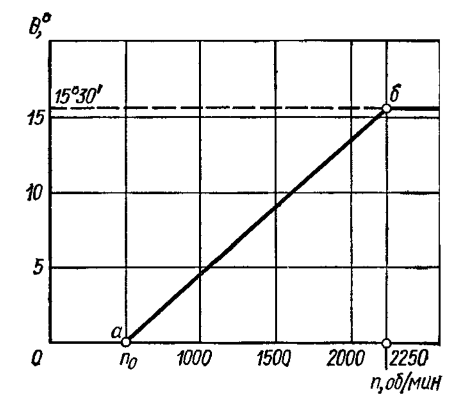


Рис. 151. Характеристика центробежного автомата

Центробежный автомат. При поверочном расчете центробежного автомата по известным регулировочным характеристикам двигателя $\theta_{\text{опт}} = f\,(n_{\text{дв}})$ и выбранной схеме автомата с известными размерами определяют параметры пружин автомата, обеспечивающие указанную характеристику с необходимой точностью.

Пусть требуемая характеристика опережения зажигания двигателя (в пересчете на частоту вращения вала распределителя) имеет вид, показанный на рис. 151. Выбранный нами для расчета центробежный автомат, работающий по принципу обкатки, показан на рис. 127. На рис. 152 изображена схема центробежного автомата.

Расчет производим следующим образом.

1. Находим центр тяжести центробежного тела $Ц_{\text{т}}$. С этой целью всю поверхность тела разбиваем на ряд элементарных участков. Зная координаты центра тяжести каждого участка, определяем координаты центра тяжести для всего тела

$$X = \frac{\sum x\,dF}{F};\ \ Y = \frac{\sum y\,dF}{F},$$

где dF — площадь данного элемента;

F — площадь центробежного тела.

2. Выражаем требуемую зависимость $\theta_{\text{опт}} = f\,(n_{\text{р}})$ в табличной форме, разбив весь диапазон изменения θ от точки *а* до точки *б* на 5—6 отрезков (см. рис. 151). Воспользовавшись схемой механизма, вычерченной в укрупненном масштабе, определим непосредственно по чертежу значения $R_{\text{ц}}$, R_1, R_2, R_3, R_4 и растяжение пружины $\Delta L_{\text{пр}}$.

3. Силу пружины $Q_{\text{пр}}$, необходимую для уравновешивания центробежной силы $Q_{\text{ц}}$, можно найти из следующих уравнений (рис. 152):

$$Q_{\text{к}} = Q_{\text{ц}} R_1/R_2;\ \ Q'_{\text{к}} = Q_{\text{пр}} R_4/R_3.$$

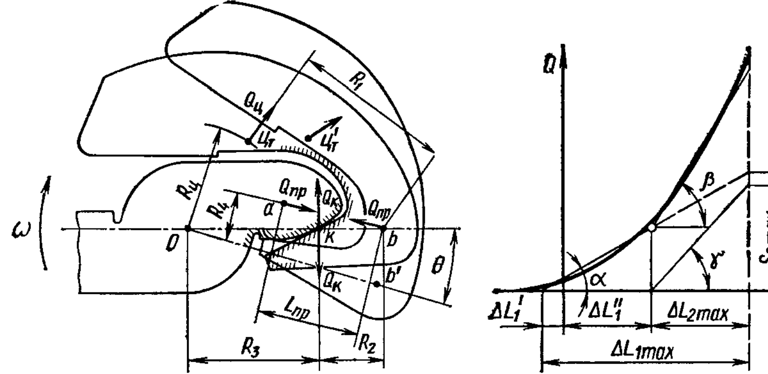


Рис. 152. К расчету центробежного автомата, работающего по методу обкатки

Рис. 153. Характеристика пружины центробежного автомата

Приравнивая силы взаимодействия в точке K контакта и учитывая наличие двух центробежных тел, получим

$$Q_{\text{пр}} = 2Q_{\text{ц}} \frac{R_1 R_3}{R_2 R_4}, \tag{63}$$

где

$$Q_{\text{ц}} = \omega^2 m R_{\text{ц}} = \frac{\pi n^2}{30} m R_{\text{ц}};$$

m — масса центробежного тела;

ω — угловая скорость валика распределителя.

В этой формуле не учтено трение в контакте, которое ввиду сильной вибрации элементов автомата в процессе работы значительно ослаблено, поэтому в простейших расчетах может быть опущено. Для облегчения расчетов составляют форму 1.

ФОРМА 1

Данные для построения характеристики пружины

θ, °	$n_{\text{д}}$, мин$^{-1}$	$\omega_{\text{р}}$, с$^{-1}$	$R_{\text{ц}}$, мм	R_1, мм	R_2, мм	R_3, мм	R_4, мм	$\Delta L = L_{\text{пр}} - L_0$, мм	$Q_{\text{пр}}$, н

По данным, внесенным в форму, строят характеристику пружины $Q_{\text{пр}} = f(\Delta L)$. Характеристика пружины (рис. 153) аппроксимируется двумя ломаными линиями, которые представляют собой совместную характеристику двух пружин. Первая пружина имеет предварительный натяг $\Delta L_1'$, необходимый для того, чтобы центробежный автомат начал работать только по достижении частоты вращения n_0 (см. точка a, рис. 151). Вторая пружина,

имеющая продолговатое ушко, начинает растягиваться лишь после того, как первая получит дополнительное растяжение $\Delta L_1''$.

Рабочая длина (длина навивки) первой и второй пружин в общем случае неодинаковая, число витков пружин $w = 6 \div 10$, средний диаметр витков $D_{ср} = 4 \div 6$ мм. Тогда для известных ΔL_{1max} и ΔL_{2max} при S_{1max} и S_{2max} диаметр проволоки

$$d_1 = \sqrt[4]{\frac{8S_{1max}D_{1ср}^3 w_1}{G\,\Delta L_{1max}}};$$

$$d_2 = \sqrt[4]{\frac{8S_{2max}D_{2ср}^3 w_2}{G\,\Delta L_{2max}}},$$

где G — модуль упругости при сдвиге в МН/м², можно принять $G = 79\,000$ МН/м².

По ГОСТу выбирают ближайший больший диаметр (обычно в пределах 0,7—0,9 мм). При этом для удовлетворения равенства надо несколько изменить $D_{ср}$ и w.

Проверяют пружину по фактическому напряжению кручения по формуле

$$\sigma_{кэ} = \frac{8Q_{max}D_{ср}}{\pi d^3}.$$

Для проволоки из стали У9А допустимое напряжение составляет $363 \cdot 10^6$ Па.

Глава VI ПРИБОРЫ КОНТРОЛЯ

§ 27. Общие сведения о системе контрольных приборов

Система контрольных приборов предназначена для измерения, контроля и сигнализации режимов работы автомобиля или трактора. Основу рассматриваемой системы составляют стрелочные измерительные приборы и сигнальные лампы.

Контрольно-измерительные приборы передают водителю информацию об основных процессах, происходящих на автомобиле или тракторе во время его работы. При управлении машиной водитель в любое время и при любых условиях движения должен иметь возможность быстро воспринимать показания и сигналы приборов, минимально отвлекаясь при этом от наблюдения за дорожной обстановкой. Основными требованиями к контрольным приборам являются простота конструкции, высокая механическая прочность, стойкость к вибрациям, низкая стоимость, нечувствительность к колебаниям питающего напряжения и др.

Контрольные приборы установлены на панели приборов перед водителем. Место каждого прибора и сигнальной лампы на панели приборов определено степенью важности передаваемой информации и частотой обращения водителя к этой информации.

Параметры, подлежащие контролю на автомобиле или тракторе, приведены в табл. 14.

Из табл. 14 следует, что подлежащие измерению параметры можно разделить на электрические и неэлектрические величины.

Развитие измерительной техники на современном этапе показывает, что различные измеряемые величины удобно преобразовывать в электрические сигналы. Тогда для всех последующих операций, будь то передача, регистрация, математическая обработка или управление, может быть использована стандартная электрическая аппаратура, которая обладает следующими преимуществами:

1) простота изменения чувствительности приборов в широком диапазоне измеряемой величины;

2) малая инерционность электрической аппаратуры;

3) возможность измерения на расстоянии;

4) комплектование измерительных и управляемых или автоматических устройств из блоков однотипной электронной аппаратуры.

Таблица 14

Параметры, подлежащие контролю на автомобиле и тракторе

Параметры	Объект контроля	Цель контроля
Сила тока	Электрооборудование	Определение исправности электрических цепей, контроль зарядно-разрядного режима
Напряжение	Электрооборудование	Определение состояния аккумуляторной батареи, уровня регулируемого напряжения, исправности электрических цепей
Линейные размеры (толщина)	Система торможения	Определение износа тормозных колодок
Частота вращения	Двигатель, трансмиссия	Определение частоты вращения, скорости движения и пройденного пути
Давление	Системы смазки двигателя и коробок передач, системы питания топливом, торможения, пневматические шины	Определение исправности системы, устройства
Разрежение	Система питания топливом	Оценка режима работы двигателя
Количество (уровень) жидкости	Топливный бак, система смазки двигателя и коробки передач, системы торможения и охлаждения	Определение уровня жидкости
Температура	Системы двигателя и коробка передач, кабина (салон) автомобиля, система кондиционирования воздуха, окружающего пространства	Определение режима работы
Время	Двигатель	Определение времени работы двигателя

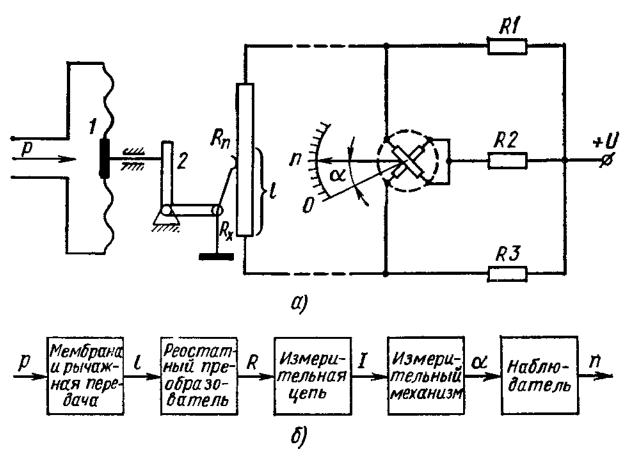


Рис. 154. Принципиальные схемы электрического контрольно-измерительного прибора:

а — электрическая; *б* — структурная

Для того чтобы низкоэлектрические величины можно было измерить при помощи электрической измерительной аппаратуры, необходимы устройства, которые предварительно преобразовывали бы измеряемую величину в промежуточную электрическую, а затем в окончательный результат измерения. Устройства, осуществляющие однозначную функциональную зависимость одной неэлектрической или электрической величины от другой, называются **чувствительными элементами**. В технике электрических измерений неэлектрических величин наибольшее распространение находят чувствительные элементы, преобразующие неэлектрические величины в электрические, а также упругие чувствительные элементы. Примерами служат реостатный преобразователь, сопротивление которого пропорционально величине линейного или углового перемещения ползунка; термопара, развивающая ЭДС, пропорциональную температуре; термобиметаллическая пластина, деформация которой пропорциональна температуре; мембранная пружина, перемещение которой пропорционально давлению, и др.

Рассмотрим принцип построения электрического прибора для измерения давления масла в системе смазки двигателя (рис. 154). Измеряемое давление p воспринимается мембраной *1*, установленной в датчике, которая при помощи рычажной передачи *2* перемещает движок реостата $R_п$. Эта часть устройства обеспечивает однозначную функциональную зависимость перемещения l движка от значения измеряемой величины p (давления), а реостат, установленный также в датчике, однозначную зависимость $R_x = f(l)$. Датчик через провод связан с приемником. Электрическая измерительная схема обеспечивает однозначную зависимость токов, протекающих по обмоткам приемника, от сопротивления R_x.

Поэтому шкала электроизмерительного прибора может быть проградуирована непосредственно в значения измеряемого давления p.

Структуру таких приборов удобно рассматривать, разделив прибор на отдельные чувствительные элементы и измерительные преобразователи, каждый из которых служит для определенной цели и решает одну элементарную задачу в цепи измерительных преобразований.

Так, все измерительные преобразователи, используемые в электрическом манометре (рис. 154, *а*), могут быть изображены последовательной цепью

$$p \rightarrow l \rightarrow R \rightarrow I \rightarrow \alpha \rightarrow n$$

или представлены структурной схемой (рис. 154, *б*).

Приборы для электрических измерений неэлектрических величин конструктивно подразделяют на два самостоятельных узла: датчик и приемник, состоящий из измерительного устройства и указателя. Узлы между собой соединены линиями связи.

Датчиком прибора для измерения неэлектрических величин называют совокупность нескольких чувствительных элементов, размещенных под общим кожухом, осуществляющих преобразование неэлектрической величины в электрический сигнал.

Автотракторные контрольные приборы имеют сравнительно невысокую точность измерения. Поэтому они просты и имеют низкую стоимость. Как правило, они изготовлены неразборными в расчете на безремонтиую работу в течение всего срока службы.

Говоря о тенденциях в развитии контрольно-измерительных приборов, необходимо отметить, что автотракторная техника в настоящее время развивается в направлении упрощения и усовершенствования процессов управления машиной. Эти задачи могут быть решены путем освобождения водителя от систематического контроля и анализа внешней обстановки и режимов работы механизмов. Роль такого контролера и анализатора в ближайшее время будет возложена на электронный блок, который станет управлять многими процессами и агрегатами, оптимизируя режимы в зависимости от задач, поставленных водителем. В этом случае большинство контрольно-измерительных приборов будет преобразовано в датчики, поставляющие информацию в электронный блок управления, обеспечивающий автоматическое регулирование контролируемого параметра.

§ 28. Амперметры и вольтметры

Амперметры и вольтметры применяются на автомобилях и тракторах для контроля зарядно-разрядного режима аккумуляторной батареи, а также для определения неисправностей генератора и реле-регулятора.

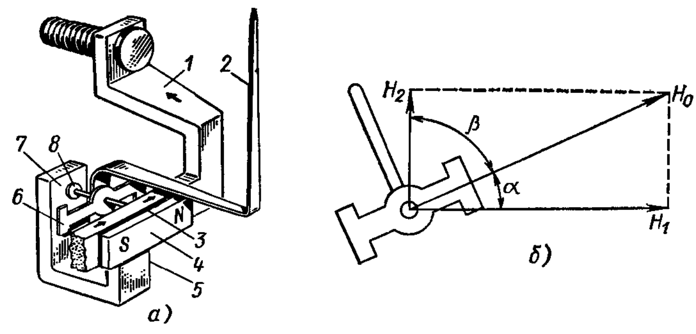


Рис. 155. Устройство амперметра электромагнитной системы с неподвижным магнитом:

а — устройство подвижной системы прибора; *б* — векторная диаграмма сил, действующих на якорек амперметра; *1* — шина; *2* — стрелка; *3* — магнитный шунт; *4* — магнит; *5* — основание; *6* — якорек; *7* — ось; *8* — опора

Амперметры включены между генератором и аккумуляторной батареей и измеряют силу зарядного или разрядного тока. Поэтому нулевое деление расположено в середине шкалы прибора.

По способу преобразования энергии автотракторные амперметры относятся к электромеханическим приборам электромагнитной или магнитоэлектрической систем. Принцип работы таких приборов основан на взаимодействии магнитного поля, создаваемого измеряемым током в неподвижной катушке (шине) с сердечником из ферромагнитного материала (постоянного магнита), помещенным в это поле. Ферромагнитный сердечник стремится принять такое положение, при котором магнитное сопротивление цепи было бы наименьшим, а магнитный поток наибольшим. Противодействующий момент в таких приборах создается при помощи постоянного магнита.

Амперметры электромагнитной системы с неподвижным магнитом (рис. 155) имеют одинаковую конструкцию и отличаются один от другого пределами измерения, внешним оформлением.

Подвижная система амперметра состоит из якорька *6* и стрелки *2*, закрепленных на оси *7*. Ось установлена в опоре-подпятнике *8*. Якорь изготовлен из малоуглеродистой стали. Неподвижная часть состоит из постоянного магнита *4* и токоведущей шины *1*, по которой протекает измеряемый ток. Между постоянным магнитом и шиной установлен магнитный шунт *3*.

При отсутствии тока в шине якорек находится под действием только поля постоянного магнита и расположен вдоль вектора напряженности H_1 (рис. 155, *б*). Стрелка прибора находится в начальном (нулевом) положении.

При прохождении через шину амперметра постоянного тока вокруг шины возникает собственное магнитное поле, силовые линии которого перпендикулярны линиям поля постоянного магнита. Под действием этого поля якорек стремится повернуться

на 90° от исходного положения, чему препятствует наличие поля постоянного магнита. На якорек действует несколько моментов от сил, стремящихся повернуть его в противоположные стороны: вращающий момент M_2 от действия поля постоянного тока, противодействующий момент M_1 от поля постоянного тока магнита, а также моменты от сил трения и дисбаланса. Подвижная система амперметра обычно полностью сбалансирована, а момент, возникающий от сил трения, мал.

Уравнение равновесия якорька (подвижной системы прибора) можно записать в виде

$$M_1 - M_2 = 0.$$

Считая магнитные поля однородными, действующие моменты можно выразить через напряженности магнитных полей

$$M_1 = k_1 H_1 \sin\alpha;$$

$$M_2 = k_2 H_2 \sin(90 - \alpha_я) = k_2 H_2 \cos\alpha_я,$$

где $\alpha_я$ — угол поворота якорька от начального положения;
k_1, k_2 — постоянные коэффициенты, зависящие от материала, формы и размеров якорька, шины и постоянного магнита.

Следовательно, уравнение равновесия подвижной системы можно записать так:

$$k_1 H_1 \sin\alpha_я - k_2 H_2 \cos\alpha_я = 0.$$

Откуда

$$\operatorname{tg}\alpha_я = (k_2 H_2)/(k_1 H_1)$$

или

$$\alpha_я = \operatorname{arctg}[(k_2 H_2)/(k_1 H_1)].$$

Полагая, что H_2 пропорциональна измеряемой силе тока $H_2 = c_2 I$, а H_1 величина постоянная, можно записать

$$\alpha_я = \operatorname{arctg}(k_2 c_2 I)/(k_1 H_1) = \operatorname{arctg} c_{пр} I.$$

Так как полный угол поворота стрелки обычно не превышает 60°, можно принять

$$\alpha_я = c_{пр} I.$$

При изменении направления измеряемого тока, вектор напряженности H_2 меняет свое направление на противоположное. В результате магнитное поле изменится таким образом, что стрелка отклонится в противоположную от вертикали сторону. Отклонение стрелки влево от вертикали соответствует разряду аккумуляторной батареи, а вправо — заряду.

На рис. 156 показан амперметр электромагнитной системы. Подвижная система прибора состоит из якорька *6*, оси *7* и стрелки *2*. Подвижная система полностью сбалансирована. Ось *7* подвижной системы вращается на заостренных концах (кернах) в регу-

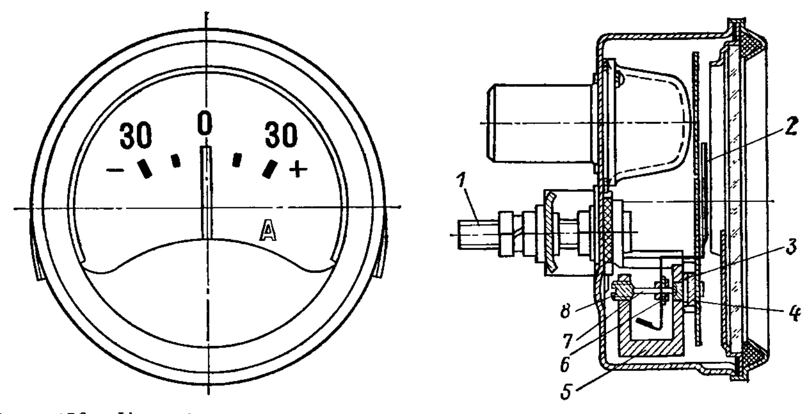


Рис. 156. Устройство амперметра

лируемых опорах-подпятниках *8*. Для сглаживания колебаний стрелки и резких ударов в подвижной системе в момент включения в опоры *8* заложена демпфирующая смазка. Измеряемый ток проходит через зажимы *1* и основание *5*, служащее токопроводом. Для уменьшения дополнительной погрешности амперметра, вызванной изменениями окружающей температуры, под постоянным магнитом *4* установлена пластинка — магнитный шунт *3*, применение которого компенсирует температурные изменения магнитного потока (так же как и в вибрационном регуляторе напряжения).

Амперметры электромагнитной системы с неподвижным магнитом применяют для измерения силы тока до 30 А, из-за конструктивных неудобств, вызванных тем, что весь измеряемый ток проходит через амперметр.

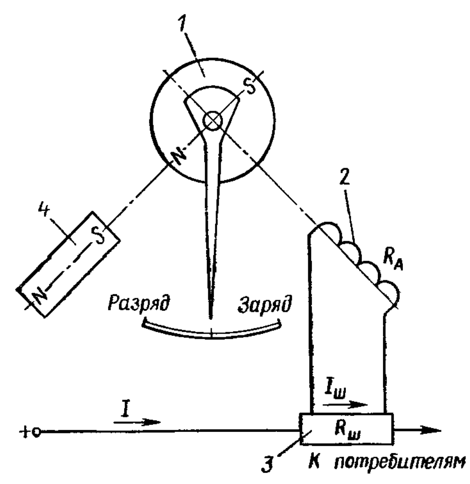


Рис. 157. Принципиальная схема магнитоэлектрического амперметра

На автомобилях с задним расположением двигателя и с генераторными установками большой мощности для уменьшения расхода подсоединительного провода большого сечения применяют амперметры магнитоэлектрической системы с подвижным постоянным магнитом (рис. 157). Подвижная система такого амперметра включает постоянный магнит и стрелку, закрепленные на оси.

Постоянный магнит размещен внутри неподвижной катушки *2*, подключенной к шунту *3*, по которому протекает измеряемый ток I. Противодействующий момент создается неподвижным постоянным магнитом *4*.

Для амперметра магнитоэлектрической системы угол поворота постоянного магнита пропорционален силе тока. При этом измеряемый ток разветвляется. Часть тока протекает по шунту $I_ш$, а часть по катушке амперметра $I_А$. В соответствии с законами Кирхгофа

$$I = I_ш + I_А;$$

$$I_ш R_ш = I_А R_А,$$

откуда

$$I_А = I R_ш / (R_ш + R_А),$$

где $R_А$ — сопротивление катушки амперметра;

$R_ш$ — сопротивление шунта.

Шунтирующие сопротивления выпускают на токи от 0,5 до 7500 А. Номинальное падение напряжения на взаимозаменяемых шунтах составляет 60 и 75 мВ. Для автотракторных амперметров применяют шунты с падением напряжения 75 мВ. Сопротивление $R_ш \ll R_А$. Поэтому сила тока, протекающего по обмотке амперметра, не превышает 150—200 мА.

Конструкция амперметров магнитоэлектрического типа (рис. 158) выполнена с использованием унифицированных деталей, распространенных в автомобильных приборах магнитоэлектрического типа. Амперметр имеет обмотку, создающую магнитное поле прибора (на рисунке обмотка не показана), намотанную на капроновый разъемный каркас *4*. Внутри каркаса на подвижной оси со стрелкой *6* установлен вращающийся магнит *3*, с которым взаимодействует неподвижный противодействующий магнит *1*, поле которого стремится удерживать вращающийся магнит *3* в положении, соответствующем нулевому показанию прибора. Ток, проходящий по обмотке, создает магнитное поле, расположенное в пространстве, перпендикулярно к полю постоянного маг-

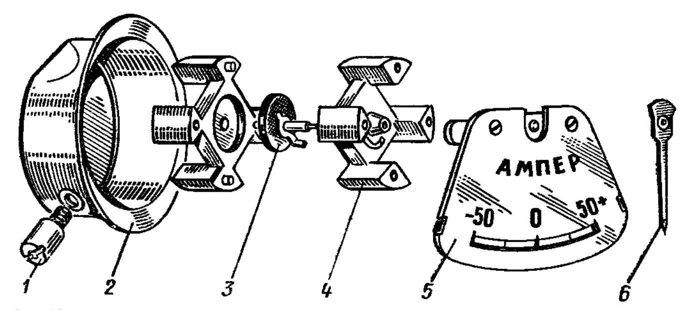


Рис. 158. Конструктивная схема подвижной системы магнитоэлектрического амперметра

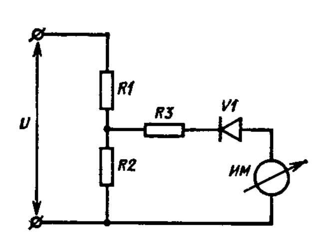


Рис. 159. Устройство вольтметра с пороговыми элементами

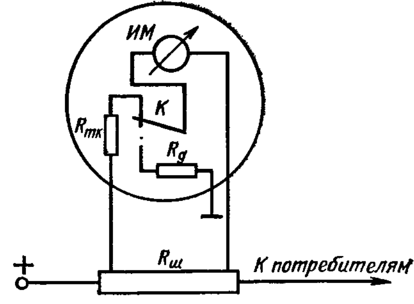


Рис. 160. Схема вольтамперметра

нита *1*. Вращающийся магнит поворачивается вдоль результирующего вектора магнитного поля. На вращающемся магните укреплен ограничитель хода, выступ которого входит в прорезь каркаса. Размеры прорези ограничивают движения вращающегося магнита в пределах движения стрелки *6* между крайними делениями шкалы. На каркасе при помощи мостика закреплена шкала *5*. Неподвижный магнит *1* имеет резьбу, на которой он ввертывается в резьбовое отверстие экрана *2*.

Такой амперметр фактически измеряет падение напряжения на шунте, создаваемое измеряемым током. Поэтому этот магнитоэлектрический прибор может быть использован и для измерения напряжения в сети автомобиля, т. е. как вольтметр. Обмотка магнитоэлектрических вольтметров должна быть подключена к измеряемому напряжению через дополнительное сопротивление $R_д$, которое может быть определено по формуле

$$R_д = R_A (U_{max} - U_A)/U_A,$$

где U_A — падение напряжения на амперметре (75 мВ);
U_{max} — предельное измеряемое напряжение.

Для определения степени заряженности аккумуляторных батарей и измерения напряжения с большой точностью разработаны вольтметры с пороговыми элементами (стабилитронами) (рис. 159).

Измеряемое напряжение U подается к делителю напряжения, состоящему из сопротивлений *R1* и *R2*. К измерительному механизму *ИМ* подается напряжение от делителя напряжения через кремниевый стабилитрон *V1*. Путем подбора сопротивлений и стабилитрона шкалу прибора можно рассчитать на измерение напряжения с большой точностью.

На некоторых машинах применяются и комбинированные приборы — вольтамперметры магнитоэлектрической системы, в которых противодействующий момент создается специальной пружиной.

В вольтамперметре (рис. 160) имеются две шкалы (одна для измерения тока, вторая для измерения напряжения). Переклю-

чение режимов работы приборов осуществляется кнопкой *K*. При ненажатой кнопке верхняя пара контактов замкнута, прибор работает в режиме амперметра с использованием наружного шунта $R_ш$. При нажатии кнопки замыкается нижняя пара контактов, прибор переключается в режим вольтметра. При этом последовательно к измерительной рамке подключается резистор $R_д$ (добавочное сопротивление). Резистор $R_{тк}$ включен последовательно с рамкой прибора и выполняет роль термокомпенсатора при работе прибора в режиме амперметра.

§ 29. Спидометры и тахометры

Во время движения тракторов, автомобилей, мотоциклов, мотороллеров и других транспортных машин необходимо определять скорость движения и пройденный путь. Контроль скорости необходим для соблюдения безопасности движения, а учет пройденного пути для правильного планирования обслуживания и расхода горюче-смазочных материалов.

По принципу действия спидометры подразделяют на индукционные и электрические, а по способу приведения в действие на спидометры с приводом гибким валом и электроприводом. Спидометры отличаются габаритными размерами и внешним оформлением, а также внутренним передаточным числом. Габаритные размеры и внешнее оформление спидометров определяются требованиями удобства и точности считывания показаний в эксплуатации, а также особенностями интерьера машины.

Спидометр с приводом от гибкого вала состоит из двух функциональных узлов, объединенных в один корпус, с общим приводом. Узел, преобразующий частоту вращения входного вала или сигнал от датчика в показания скорости на шкале, называют скоростным узлом (собственно спидометром). Другой узел, преобразующий вращение входного вала или иной сигнал от датчика в показания пройденного пути, называют счетным узлом (одометром).

Основу скоростного узла составляет индукционный преобразователь (рис. 161), представляющий собой постоянный магнит с металлическим диском. При вращении постоянного магнита относительно диска в последнем наводятся вихревые токи. Создаваемое ими поле взаимодействует с магнитным полем постоянного магнита. В результате создается момент M_1, приложенный к диску в направлении вращения постоянного магнита. Этот момент является вращающим. Пружина-волосок создает противодействующий момент M_2. Повороту подвижной системы также противодействует момент M_3

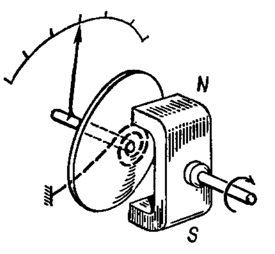


Рис. 161. Индукционный преобразователь

от сил трения в опорах, момент M_4 дисбаланса (от неуравновешенности масс подвижной системы относительно оси вращения).

При постоянной скорости вращения магнита вращающий момент уравновешивается моментами пружины, трения и дисбаланса, т. е.

$$M_1 = M_2 \pm M_3 \pm M_4. \qquad (64)$$

Знак момента трения и дисбаланса определяется в зависимости от изменения скорости и положения подвижной системы.

При постоянной скорости вращения магнита, когда подвижная система прибора находится в состоянии равновесия, $M_3 = 0$. Учитывая, что подвижную систему при изготовлении балансируют, моментом M_4 в первом приближении можно пренебречь. Тогда вращающий момент уравновешивается моментом пружины-волоска $M_1 = M_2$.

Вращательный момент пропорционален частоте вращения магнита и может быть определен по формуле

$$M_1 = C \frac{l_n{}^2 D^2 p \delta_к}{\rho_к} B^2 \omega, \qquad (65)$$

где C — коэффициент, учитывающий размерности;
$l_п$ — длина полюсов магнита, см;
D — диаметр магнита, см;
p — число пар полюсов магнита;
$\delta_к$ — толщина стенки картушки, см;
$\rho_к$ — удельное сопротивление картушки, Ом·см;
ω — частота вращения магнита.

Учитывая, что все величины, кроме частоты вращения, входящие в формулу для каждого скоростного узла, постоянны, выражение для вращательного момента можно упростить

$$M_1 = c\omega.$$

Противодействующий момент, создаваемый пружиной-волоском, определяется по формуле

$$M_2 = (Ehb^3\varphi)/(12l) = c_{пр}\varphi,$$

где E — модуль упругости пружины;
h, b, l — ширина, толщина и длина ленты, из которой навита пружина;
φ — угол закрутки пружины;
$c_{пр} = (Ehb^3)/(12l)$ — жесткость пружины.

При установившемся положении подвижной системы спидометра, состоящей из диска и стрелки,

$$c\omega = c_{пр}\varphi.$$

Откуда

$$\omega = c_{пр}\varphi/c = c_п\varphi,$$

где $c_п$ — постоянная прибора или цена деления, выражающая число единиц измеряемой величины, приходящееся на один градус шкалы.

Таким образом, зависимость угла поворота подвижной системы φ от частоты вращения ω является линейной. При наличии момента трения прямая смещается параллельно (в зависимости от изменения скорости). Наличие дисбаланса подвижной системы приводит к искажениям линейной зависимости $\varphi = f(\omega)$.

Конструкция скоростного узла выполнена таким образом, что моменты трения в опорах и дисбаланса практически не оказывают влияния на работу спидометра.

Счетный узел состоит из нескольких зубчатых соосных передач цевочного зацепления, имеющих паразитные колеса. Ведущее колесо в каждой передаче имеет неполное число зубьев, равное одной десятой полного числа зубьев. За счет этого обеспечивается передаточное отношение между колесами в каждой передаче 10 : 1, т. е. каждое колесо счетного механизма сделает 0,1 часть оборота при повороте предыдущего (ведущего) колеса на один полный оборот. Например, при 100 оборотах первого звена второе сделает 10 оборотов, третье 1, четвертое 0,1 оборота, пятое и последующие — неподвижны; звенья выполнены в виде барабанчиков, на поверхности которых нанесены цифры. Цифры видны в прорезь на шкале прибора и указывают пройденный путь. Первый барабанчик (вращающийся равномерно) указывает сотни метров, второй — километры, третий — десятки, четвертый — сотни километров и т. д.

Счетный узел приводится во вращение от входного вала спидометра при помощи червячных передач. Передаточное отношение червячных зацеплений, называемое внутренним передаточным числом спидометра, подбирают таким образом, чтобы при частоте вращения входного вала, соответствующей скорости движения автомобиля 60 км/ч, первый барабанчик, обозначающий сотни метров, делал за одну минуту один полный оборот (что соответствует одному километру пройденного пути). Таким образом, обеспечивается соответствие между показаниями скорости и пройденного пути.

Входной вал спидометра соединен с трансмиссией автомобиля гибким валом. Гибкий вал представляет собой тонкий сердечник из витых стальных проволок, заключенный с небольшим зазором в оболочку. При вращении одного конца сердечника другой его конец вращается с той же частотой.

Обычно спидометры имеют внутреннее передаточное число 624. Исключение составляют спидометры для автомобилей ВАЗ и мотоциклов, где передаточное число равно 1000.

К ведомому валу коробки передач автомобиля подсоединен редуктор привода спидометра, передаточное число i которого выбирают в зависимости от передаточного отношения главной передачи и радиуса качения колеса автомобиля.

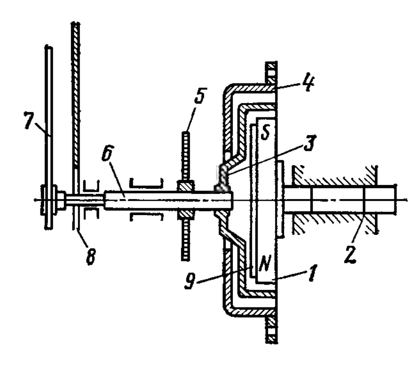


Рис. 162. Скоростной узел спидометра

Если на километр пути валик спидометра должен сделать 624 оборота, а колесо за это время делает $1000/(2\pi r_к)$ оборотов, то

$$ii_{г.п} = (624 \cdot 2\pi) r_к/1000.$$

Откуда

$$i = 3{,}92 r_к/i_{г.п},$$

где $i_{г.п}$ — передаточное число главной передачи;

$r_к$ — радиус качения колеса, м.

Рассмотрим конструкцию скоростного узла спидометра (рис. 162), применяемого на автомобилях ВАЗ-2101 и ВАЗ-2102.

Магнит *1* закреплен на приводном валике *2* прибора и намагничен таким образом, что оба полюса расположены по периферии диска. На отдельной оси *6*, свободно вращающейся в двух подшипниках, укреплена картушка *3* из алюминия, которая с некоторым зазором охватывает магнит. Чтобы через картушку проходила большая часть магнитного потока, снаружи ее также с некоторым зазором расположен экран *4* из магнитомягкой стали Ст10.

Приводной валик *2* вращается при помощи гибкого вала. Над магнитом *1* закреплена шайба термокомпенсатора *9*. Чашеобразная картушка закреплена на одной оси со стрелкой *7* и пружиной-волоском *5*.

Рассмотренная конструктивная схема скоростного узла с картушкой цилиндрической формы применяется во многих типах спидометров автомобилей и мотоциклов. На некоторых автомобилях (ЗИЛ, АЗЛК, ЗАЗ) скоростной узел имеет плоскую картушку (рис. 163). Принцип работы скоростного узла аналогичен описанному выше.

Магнит *2* скоростного узла спидометра имеет форму плоского диска, на котором имеются четыре полюса. Рабочий магнитный поток действует в зазоре между картушкой и магнитом в торцовом направлении. Оба подшипника и подпятник оси картушки закреплены на жестком узле магнитного экрана *9* с основанием *11*. На этом же основании закреплен и регулятор *18* натяжения пружины-волоска.

Конструкции скоростного узла могут отличаться устройствами указывающего элемента. В конструкциях скоростных узлов, приведенных на рис. 162 и 163, в качестве указателя используется стрелка, вращающаяся относительно неподвижной шкалы.

Известны спидометры, у которых указывающим элементом является цветная лента, передвигающаяся относительно линейной шкалы. Применение такой конструкции связано с особенностями оформления панели приборов автомобиля.

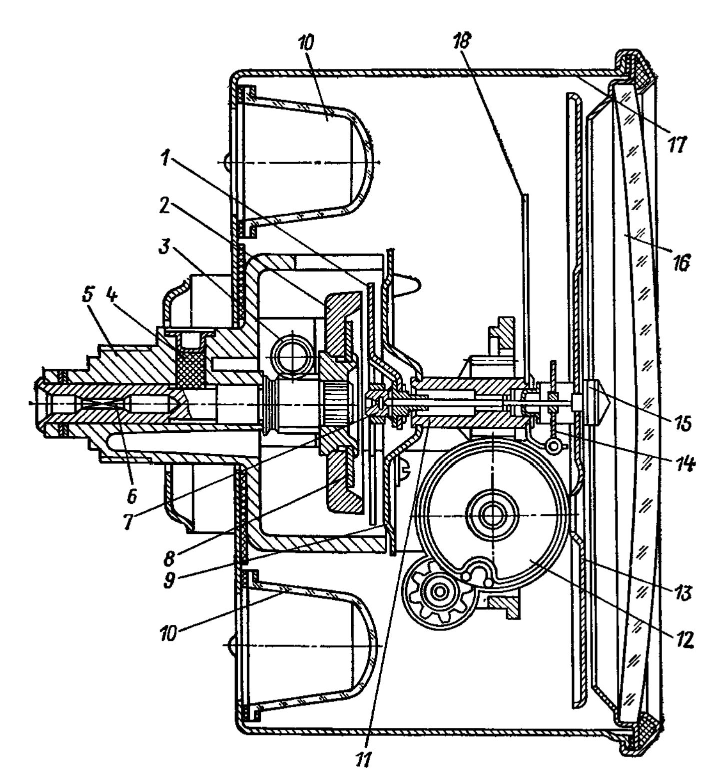


Рис. 163. Устройство спидометра с плоской картушкой:

1 — картушка; *2* — магнит; *3* — червяк привода счетного узла; *4* — масленка; *5* — корпус; *6* — вал магнита; *7* — опора картушки; *8* — магнитный шунт; *9* — экран; *10* — колпачок лампы освещения; *11* — основание оси картушки; *12* — счетный узел; *13* — шкала; *14* — пружина-волосок; *15* — стрелка; *16* — стекло; *17* — кожух; *18* — регулятор пружины-волоска

Конструкция счетного узла спидометра приведена на рис. 164. Каждый барабанчик *1* со стороны привода имеет 20 зубцов *2*, расположенных по периферии, а с другой стороны два зубца *3* и впадину между ними. Трибка *4* имеет шесть зубцов, входящих в зацепление с барабанчиками. На этой стороне трибки, которая соединена с двузубкой барабанчика, три зубца из шести укорочены. Барабанчики и трибки свободно посажены на осях, а крайний правый барабанчик (начальный) связан с входным валиком спидометра. При вращении начального барабанчика его двузубка подходит к укороченному зубцу трибки, поворачивает ее на $^1/_3$ оборота и продолжает свое вращение. При этом трибка повернет последующий барабанчик на два зубца, т. е. на $^1/_{10}$ оборота. Пока двузубка начального барабанчика совершает полный оборот, трибка не может вращаться, так как два ее длинных зубца скользят по цилиндрической части барабанчика. Такая конструкция обес-

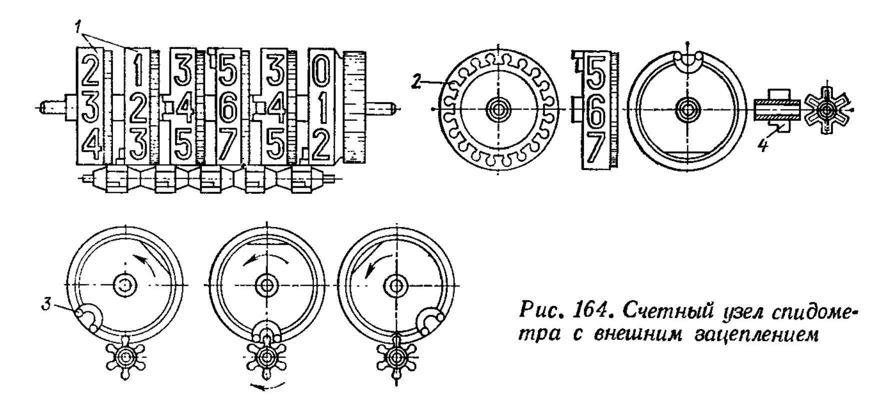


Рис. 164. Счетный узел спидометра с внешним зацеплением

печивает поворот каждого последующего барабанчика на $^1/_{10}$ оборота только после того, как предыдущий сделает один полный оборот. Описанный счетный узел называют конструкцией с открытым внешним зацеплением. Кроме счетных узлов с открытым внешним зацеплением применяют счетные узлы с внутренним зацеплением.

В счетном узле с внутренним зацеплением (рис. 165) зубцы на барабанчиках расположены с внутренней стороны обода, а каж-

Рис. 165. Счетный узел спидометра с внутренним зацеплением:

1 — трибки; 2 — барабанчики; 3 — шестерня привода; 4 — кронштейн для крепления трибки

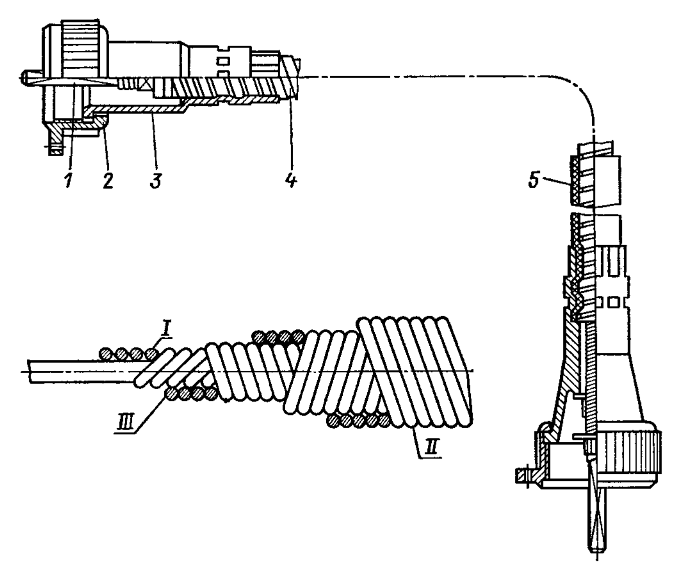


Рис. 166. Гибкий вал привода спидометра:

1 — сердечник; *2* — накидные гайки; *3* — ниппель; *4* — броня; *5* — оболочка брони; *I* — левая четырехзаходная навивка; *II* — правая пятизаходная навивка; *III* — правая четырехзаходная навивка

дая трибка установлена на отдельном кронштейне между барабанчиками.

Гибкий вал спидометра (рис. 166) представляет собой гибкую броню *4* в виде спирали, состоящей из одной или двух профилированных проволок, на концах которой закреплены ниппели *3* и гайки *2* для присоединения к приводу и прибору. Иногда броня имеет пластмассовую уплотнительную оболочку *5*. Сердечник гибкого вала *1* навит из стальной проволоки в несколько слоев с изменением направления навивки каждого слоя. Концы гибкого вала спрессованы в форме квадратных наконечников, сопряженных с валиками прибора и привода. К недостаткам гибких валов относятся быстрый износ неравномерность вращения, а также ограничения по длине и сложности трассы прокладки.

При расположении двигателя в задней части кузова или в случае применения откидывающейся кабины рекомендуется использовать спидометры с электроприводом. Электропривод спидометра выполнен по схеме генератор-двигатель. Функции генератора выполняет преобразователь постоянного напряжения в трехфазное или синхронный генератор, приводящийся во вращение от ведомого вала коробки перемены передач.

Двигателем служит трехфазная синхронная электрическая машина, вал которой является входным валом спидометра.

В электроприводе с механическим преобразователем (рис. 167) постоянный ток сети преобразуется в трехфазный переменный при

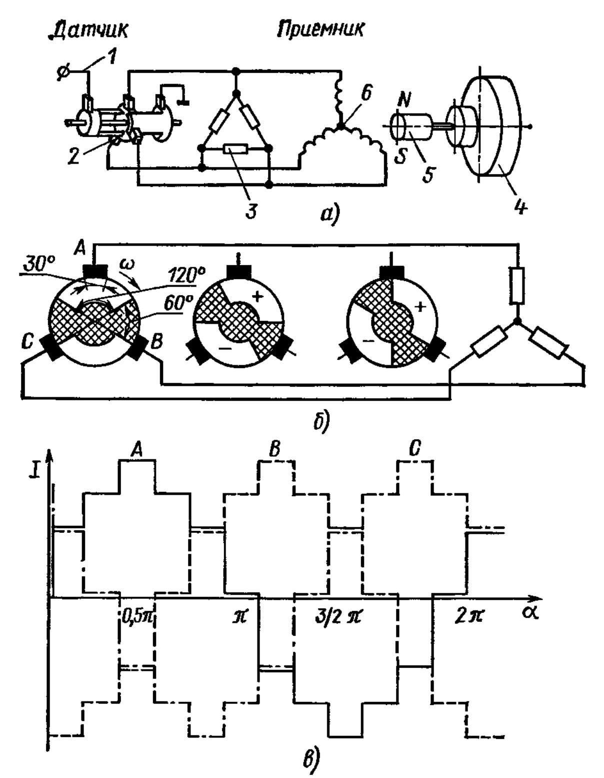


Рис. 167. Электропривод спидометра:

а — схема электропривода с коммутаторным датчиком; *б* — принцип работы электропривода; *в* — изменение фазных токов в обмотках приемника; *А*, *В*, *С* — кривые фазных токов в первой, второй и третьей обмотках приемника; *1* — клемма питания; *2* — коллектор и щетки датчика; *3* — помехоподавляющие резисторы; *4* — спидометр индукционного типа; *5* — ротор двигателя приемника; *6* — обмотка приемника

помощи коммутатора. На валу, вращающемся пропорционально скорости движения машины, размещены три диска. Крайние диски (металлические) соединены через щетки с источником электрической энергии и сегментами среднего диска. Два сегмента среднего диска выполнены из металла, а два из изоляционного материала. Первые расположены под углом 120°, а вторые под углом 60°. Средний диск соединен с тремя щетками, сдвинутыми одна относительно другой на 120°. Угловая ширина щеток 30°.

При вращении вала коммутатора к обмотке трехфазного синхронного двигателя с постоянными магнитами будет подаваться трехфазное переменное напряжение (по первой гармонике). Двигатель будет вращаться синхронно со скоростью вращения вала коммутатора.

Конструкция спидометра с электроприводом и механическим преобразователем показана на рис. 168. Коммутаторный датчик

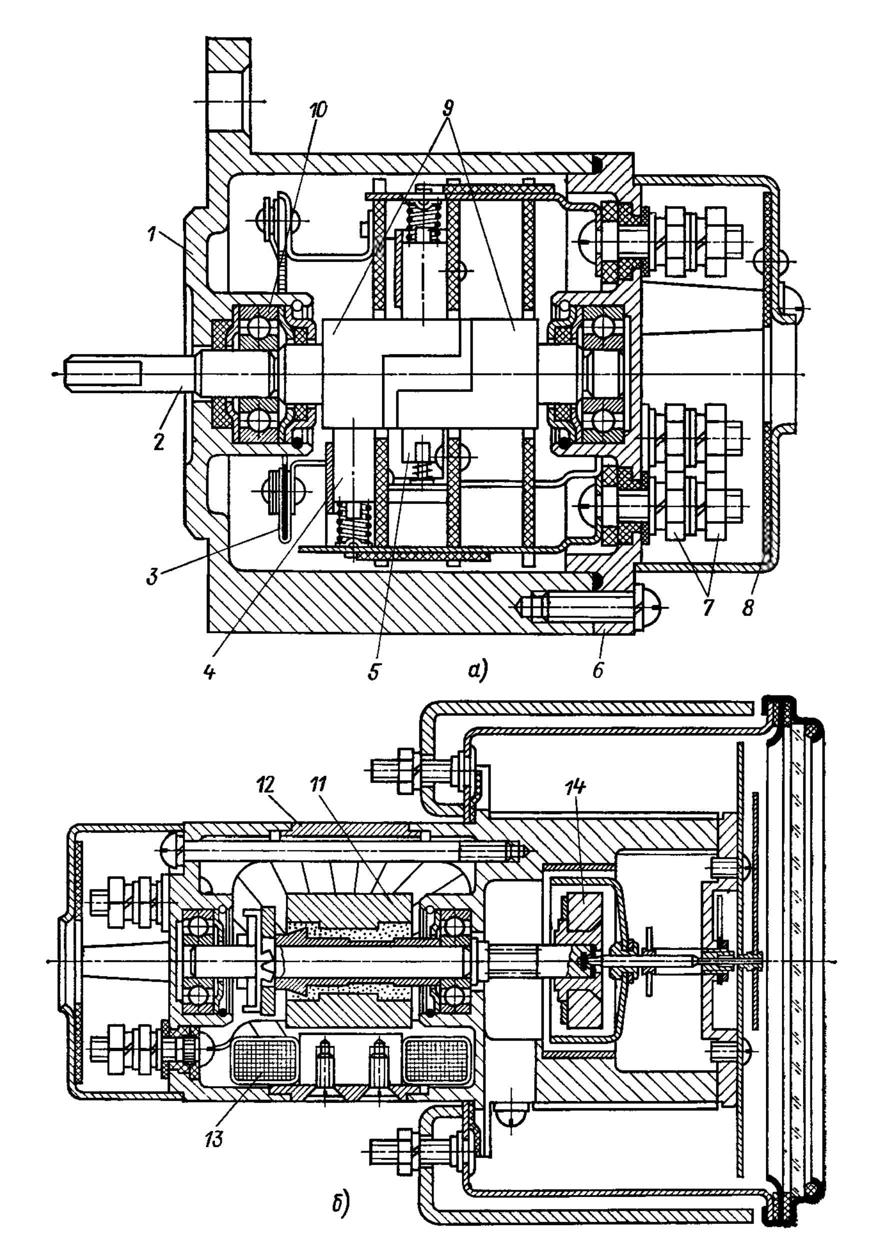


Рис. 168. Конструкция спидометра с электроприводом:

а — датчика коммутаторного типа; *б* — приемника; *1* — корпус; *2* — входной валик *3* — помехоподавительные резисторы; *4* — щетки питания; *5* — щетки коллектора *6* — крышка; *7* — клеммы; *8* — кожух; *9* — коллектор; *10* — подшипник; *11* — ротор *12* — корпус статора; *13* — обмотки; *14* — кольцеобразный магнит

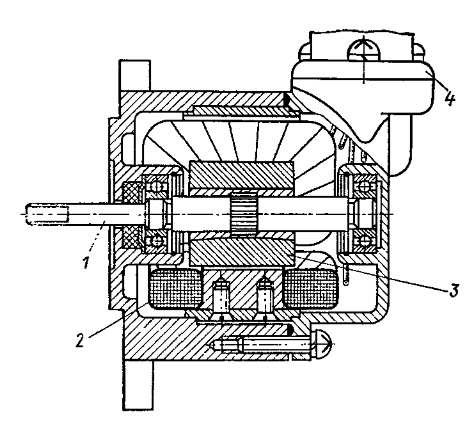


Рис. 169. Конструкция генераторного датчика:

1 — приводной валик; *2* — обмотки; *3* — ротор; *4* — штекерный разъем

(рис. 168, *а*) состоит из корпуса *1*, внутри которого в подшипниках *10* вращается коллектор *9*, выполненный в виде двух колец с выступающими в осевом направлении сегментами. Кольца коллектора соединены со щетками *4* питания датчика, к которым подается постоянное напряжение. При вращении кольца попеременно соединяются выступающими сегментами с тремя токосъемными щетками *5*, расположенными в одной плоскости равномерно по окружности. С этих трех щеток питание подается к обмоткам статора приемника. Внутри корпуса датчика установлены сопротивления *3*, посредством которых снижается искрообразование. Для присоединения проводов или штекерного разъема на датчике предусмотрены клеммы *7*.

В корпусе 12 статора двигателя с трехполюсной обмоткой 3 (рис. 168, *б*) на двух подшипниках свободно вращается ротор *11*, выполненный в виде двухполюсного цилиндрического оксидно-бариевого магнита. На валике ротора закреплен кольцеобразный магнит *14* скоростного узла спидометра индукционного типа. Ось картушки скоростного узла опирается на подшипники, один из которых встроен в валик электродвигателя.

Датчик (генератор с постоянными магнитами) такого спидометра по конструкции аналогичен двигателю привода (рис. 169). Датчик к коробке передач автомобиля или автобуса крепится посредством резьбовых шпилек.

Иногда в спидометрах с электроприводом применяют промежуточные усилители мощности на транзисторах между генератором и двигателем (рис. 170).

Регулирование и термокомпенсация скоростного узла. Для обеспечения необходимой точности показаний регулирование скоростного узла осуществляют при изготовлении путем изменения натяжения пружины-волоска (линейная регулировка) и магнитного потока (масштабная регулировка). Регулировку натяжения волоска производят при нулевой скорости. Происходит параллельный сдвиг характеристики вверх или вниз до совпадения стрелки с начальным делением шкалы. Натяжение волоска вызывает прижатие подвижной части скоростного узла к упору. Начало движения указателя скорости относительно шкалы начинается при скорости автомобиля, равной 5—10 км/ч (характеристика не

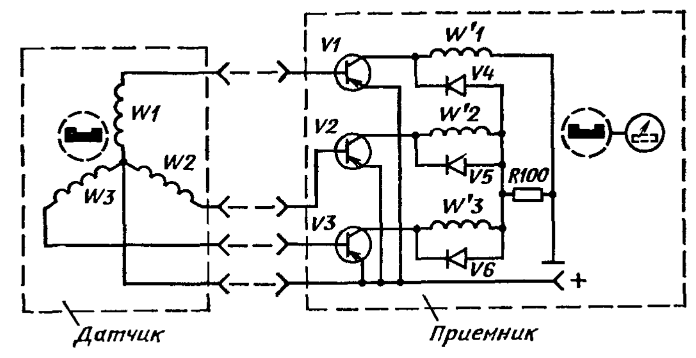


Рис. 170. Схема электропривода спидометра с промежуточным усилителем

проходит через начало координат). Вторая регулировка (масштабная) заключается в изменении наклона характеристики. Магнит предварительно намагничивают, причем степень намагничивания выше, чем это требуется для получения нужного рабочего потока. В собранном механизме при регулировке при определенной скорости магнит размагничивают в магнитном поле переменного тока таким образом, чтобы тяговый момент снизился и характеристика легла в допустимую зону так, чтобы показания стрелки соответствовали действительному значению измеряемой скорости.

Изменение температуры окружающей среды на электрическое сопротивление картушки оказывает значительное влияние, а на магнитный поток магнита и модуль упругости пружинки меньшее. Поэтому возникают тепловые погрешности в показаниях скоростного узла. Частично эти явления компенсируются при помощи магнитного шунта (шайбы), размещенного рядом с постоянным магнитом и имеющего изменяющийся от температуры коэффициент магнитной проницаемости. Наличие термокомпенсационной шайбы позволяет шунтировать часть нерабочего потока магнита. При повышении окружающей температуры ее магнитное сопротивление увеличивается (магнитная проницаемость снижается). При правильно подобранной форме и размерах термокомпенсатора повышение электрического сопротивления картушки компенсируется с одновременным увеличением рабочего магнитного потока (потока через картушку), и показания скоростного узла практически постоянные.

Тахометр применяют в тех случаях, когда на автомобиле необходим контроль за частотой вращения вала двигателя. В тахометрах обычно устанавливают скоростные узлы, принцип действия которых аналогичен принципу действия скоростных узлов спидометров. Различие заключается только в том, что их шкалы грудуируют не в единицах скорости (км/ч), а в единицах частоты вращения (об/мин).

На двигателях с всережимными регуляторами, работающими практически с постоянной частотой вращения, применяют тахометры со счетчиком условных моточасов работы двигателя. Это позволяет учитывать действительный ресурс двигателя и точнее планировать его обслуживание.

Привод тахометров аналогичен приводам спидометров. Привод тахометров присоединяют к распределительному валу двигателя или специальному выводу от него. Для привода тахометров обычно применяют редуктор, понижающий частоту вращения гибкого вала.

В настоящее время широко распространены электронные тахометры, не требующие специального привода.

Принцип действия тахометра основан на преобразовании частоты импульсов, возникающих в первичной цепи системы зажигания при размыкании контактов прерывателя, в электрический ток, измеряемый магнитоэлектрическим прибором.

Схема электронного тахометра (рис. 171) состоит из блока формирования запускающих импульсов, транзисторного одновибратора, магнитоэлектрического измерительного прибора *МЭ* и стабилизатора напряжения.

Стабилизатор напряжения состоит из кремниевого стабилитрона *V5*, резистора (сопротивления) *R11* и обеспечивает стабилизацию напряжения.

Блок формирования запускающих импульсов состоит из резисторов *R1*, *R2*, конденсаторов *C1*, *C2*, *C3*, *C4* и стабилитрона *V3*. Блок запускающих импульсов подключен параллельно контактам прерывателя и осуществляет преобразование затухающих синусоидальных колебаний в импульсы в виде полусинусоид положительного знака.

Одновибратор выполнен на двух транзисторах *V1*, *V2* с жесткой эмиттерной обратной связью (резистор *R5*) и гибкой коллек-

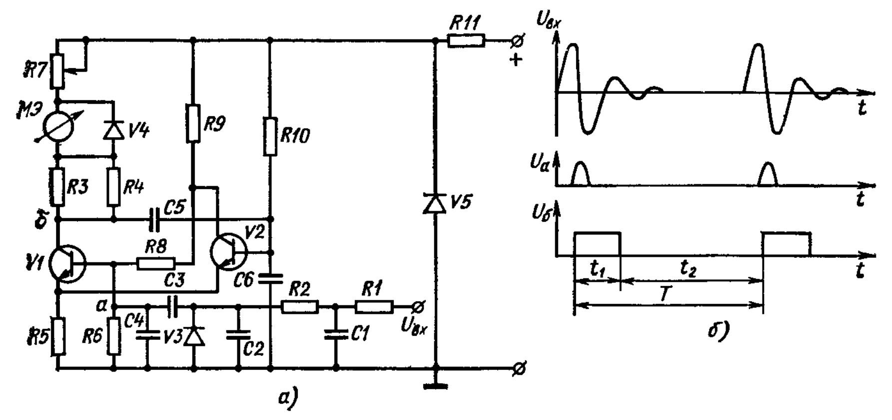


Рис. 171. Электронный тахометр:

а — принципиальная схема; *б* — график преобразования сигналов

торной обратной связью (конденсатор *C5*). В коллекторную цепь транзистора *V1* через регулировочный резистор *R7* и термокомпенсатор (терморезистор *R3* и резистор *R4*) включен прибор *МЭ*. Для обеспечения непрерывности тока в измерительном приборе последний шунтирован диодом *V4*. Нагрузкой транзистора *V2* является сопротивление *R9*. Цепи смещения для транзисторов образуются при помощи резисторов *R6*, *R8*, *R10*, и конденсатора *C6*.

При подключении прибора к сети транзистор *V2* переключается в состояние насыщения (ток базы протекает по цепи *R10* — эмиттерный переход — *R5*). При этом заряжаются конденсаторы *C6* и *C5* (по цепи *R7* — измерительный прибор — *R4* — конденсатор *C5* — эмиттерный переход транзистора *V2* — *R5*). Транзистор *V1* находится в состоянии насыщения, так как напряжение $U_{эк\,1}$ меньше падения напряжения на резисторе *R8*.

При размыкании контактов прерывателя образуется запускающий импульс, в результате которого транзистор *V1* переключается в состояние насыщения. Под действием обратных связей транзистор *V2* переключается в состояние отсечки. Время пребывания транзистора *V2* в состоянии отечки зависит от длительности разряда конденсатора *C5* через открытый транзистор *V1* — *R5* — —*V5* — *R10*.

Повторное переключение транзистора *V2* в состояние насыщения произойдет в момент, когда напряжение на конденсаторе *C5*, определяющее практически напряжение на эмиттерном переходе транзистора *V1* ($U_{э2} = U_{c5} = U_{эк\,1}$), достигнет порогового значения $U_{0э1}$. Следовательно, время нахождения транзистора *V1* в состоянии насыщения (t_1) при изменении частоты переключения прерывателя практически будет оставаться неизменным, так как оно определяется параметрами разрядной цепи конденсатора *C5*.

Процессы, протекающие в электронном тахометре, можно описать следующими дифференциальными уравнениями (если пренебречь сопротивлениями транзисторов в состоянии насыщения и сопротивлением диода в проводящем направлении):

$$U_{ст} = (R_7 + R_{мэ} + R_{3\text{-}4} + R_5)\,i + L_{мэ}\frac{di}{dt} \quad \text{при } 0 \leqslant t \leqslant t_1;$$

$$0 = R_{мэ}i + L_{мэ}\frac{di}{dt} \quad \text{при } 0 \leqslant t \leqslant t_2,$$

где $U_{ст}$ — напряжение стабилизации кремниевого стабилитрона *V5*;

$R_{мэ}$, $L_{мэ}$ — соответственно активное сопротивление и индуктивность обмотки магнитоэлектрического измерительного прибора;

i — ток, протекающий по обмотке прибора *МЭ*;

t_1 — время нахождения транзистора *V1* в состоянии насыщения;

t_2 — время нахождения транзистора $V1$ в состоянии отсечки.

Как видно, электронный тахометр является импульсным устройством, для которого

$$\text{к} = 0; \quad c = (R_7 + R_{\text{мэ}} + R_{3\text{-}4} + R_5)/R_{\text{мэ}} > 1,$$

т. е. относится к V группе простейших регуляторов дискретного действия. Для этой группы среднее значение тока

$$I_{\text{ср}} = \frac{U_{\text{ст}}}{R_\Sigma}\gamma\left[1 - \frac{(1-c)\left(1-e^{-\gamma\tau}\right)\left(1-e^{-(1-\gamma)\frac{\tau}{c}}\right)}{\gamma\tau\left(1-e^{-\left(\gamma+\frac{1-\gamma}{c}\right)\tau}\right)}\right],$$

где

$R_\Sigma = R_7 + R_{\text{м. э}} + R_{3\text{-}4} + R_5$ — суммарное сопротивление;

$\gamma = t_1/T$ — относительная длительность импульса;

$\tau = T/T_{\text{мэ}}$ — относительная длительность периода переключений прерывателя;

$T = 120/(z_{\text{ц}} n_{\text{дв}})$ — период переключения прерывателя системы зажигания;

$z_{\text{ц}}$ — число цилиндров двигателя внутреннего сгорания;

$T_{\text{мэ}} = L_{\text{мэ}}/R_{\text{мэ}}$ — постоянная времени цепи обмотки прибора *МЭ* во время импульса.

Относительная длительность периода переключений прерывателя $\tau \gg 1$. Поэтому вторым членом квадратных скобок можно пренебречь. Тогда (полагая $z = 4$, $t_1 = \text{const}$)

$$I_{\text{ср}} = (n_{\text{дв}} U_{\text{ст}} t_1)/(30 R_\Sigma).$$

Итак, среднее значение тока, протекающего по обмотке магнитоэлектрического прибора, прямо пропорционально частоте вращения коленчатого вала. Известно, что в магнитоэлектрическом приборе вращающий момент

$$M_{\text{вр}} = k_1 I_{\text{ср}} = k_1 (n_{\text{дв}} U_{\text{ст}} t_1)/(30 R_\Sigma).$$

Противодействующий момент, создаваемый двумя спиральными пружинами, пропорционален углу закрутки

$$M_{\text{с}} = k_2 \alpha,$$

где k_2 — жесткость пружин.

Отклонение рамки происходит до тех пор, пока не наступит уравновешивание вращающего момента с противодействующим моментом. При $M_{вр} = M_с$ движение рамки прекращается

$$k_1 \frac{U_{ст} t_1}{30 R_\Sigma} n_{дв} = k_2 \alpha$$

или

$$n_{дв} = \frac{30 k_2 R_\Sigma}{k_1 U_{ст} t_1} \alpha = c_{пр} \alpha,$$

где $c_{пр} = (30 k_2 R_\Sigma)/(k_1 U_{ст} t_1)$ — постоянная прибора или цена деления, выражающая число единиц измеряемой величины, приходящейся на одно деление шкалы.

Пропорциональная зависимость между частотой вращения коленчатого вала двигателя внутреннего сгорания и углом поворота рамки (стрелки) указывает на то, что шкала приборов этой системы равномерная.

Показывающий прибор магнитоэлектрической системы с подвижной рамкой обеспечивает отклонение стрелки на угол примерно равный 270° при токе 10 мА. Для стабилизации напряжения питания прибора установлен стабилитрон *V5*, что исключает погрешность показаний от изменения напряжения бортовой сети автомобиля.

Измерительный механизм (рис. 172) тахометра и преобразующая электронная схема размещены внутри общего кожуха. Электронная часть схемы собрана на плате с печатным монтажом. Измерительный механизм имеет ось *6* и два подшипника *7*. На оси установлена траверса *5* с катушкой *10* и противовесом *4*. Катушка *10* с измерительной обмоткой охватывает подковообразный магнитопровод *3* и поворачивается на оси по дуге вдоль магнитопровода. Между магнитопроводом *3* и основанием *1* магнитной системы расположен постоянный магнит *2*, создающий в зазоре, в котором перемещается катушка *10*, магнитный поток. Взаимодействие магнитного поля, создаваемого постоянным магнитом с током, протекающим по катушке, приводит к повороту подвижной системы прибора на угол, пропорциональный величине тока в катушке. Противодействующий момент создается двумя пружинами-волосками *9*, служащими одновременно токопроводами для подвода тока к катушке прибора через токоподводящие клеммы *8*.

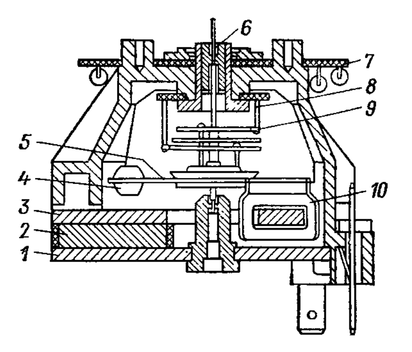


Рис. 172. Измерительный механизм электронного тахометра:

1 — основание; *2* — постоянный магнит; *3* — магнитопровод; *4* — противовесы; *5* — траверса; *6* — ось; *7* — подшипник; *8* — токоподводные клеммы; *9* — спиральная пружина; *10* — катушка

В процессе накопления опыта производства, эксплуатации, исследования и проектирования определились основные параметры спидометра и конструктивные особенности. Существующие конструкции скоростных и счетных узлов спидометров обеспечивают их надежную работу при обеспечении необходимой точности показаний.

Расчет скоростного узла спидометра производят при внесении изменений в его конструкцию, например, изменении размеров и формы стрелки или картушки, изменении пределов измерения или угла размаха шкалы, изменении материала магнита или магнитопровода и т. д. Расчет проводят для обеспечения устойчивого положения стрелки относительно шкалы под воздействием вибраций, возникающих во время работы спидометра.

Согласно опытным данным достаточная устойчивость обеспечивается при определенном соотношении величины вращающего момента и момента инерции подвижной системы прибора, называемого показателем добротности λ,

$$\lambda = M_у/J,$$

где $M_у$ — удельный вращающий момент, т. е. момент, отнесенный к соответствующему значению скорости автомобиля;

J — момент инерции подвижной системы.

При $\lambda = 0{,}5 \div 1{,}5$ устойчивость обеспечивается, при меньших значениях λ спидометр чувствителен к вибрации кузова, при больших значениях спидометр чувствителен к неравномерностям вращения привода.

Расчет можно проводить в следующей последовательности.

1. Определяют массу и момент инерции подвижной системы, включающей картушку и стрелку (или другой указывающий элемент).

2. Устанавливают необходимую величину удельного вращающего момента $M_у = \lambda J$. Показатель λ принимают равным 0,5 — для спидометров, работающих с гибким валом большой длины, $\lambda = 1{,}5$ для спидометров, работающих в условиях повышенных вибраций. Для остальных случаев $\lambda = 1$.

3. Находят $M_1 = M_у U$ и $M_1 = f(\alpha)$, где α — угол поворота подвижной системы. Второй график строят по формуле

$$M_1 = M_у U_{max} \alpha/\alpha_ш,$$

где $\alpha_ш$ — угол размаха шкалы.

4. Определяют необходимую жесткость пружины-волоска

$$K_2 = M_1/\alpha.$$

По жесткости подбирают пружину-волосок.

5. Из формулы (65) находят параметры индукционного преобразователя. Например, величина индукции, необходимая для измерения максимальной скорости движения автомобиля, равна $B = \sqrt{\frac{M_1}{c\omega}}$.

Затем по B подбирают материал и форму магнита.

Современные спидометры имеют подвижную систему с массой 4,5—6,5 г, вращающий момент при угле поворота подвижной системы на 90° 0,6—1,3 гсм. Магниты имеют кольцевую форму и, как правило, одну пару полюсов. Магнитный поток равен $3 \cdot 10^{-5}$ Вб при магнитной индукции 0,12—0,2 Т. При расчете привода спидометра необходимо задаваться крутящим моментом на входном валике 100 гсм, для спидометров с дополнительным (суточным) счетчиком 300 гсм.

§ 30. *Манометры и указатели уровня топлива*

Манометры предназначены для измерения давления масла в системе смазки двигателя гидромеханической передачи, контроля давления воздуха в пневматической тормозной системе и вакуумной системе открывания дверей и др. Эксплуатация автомобилей или тракторов с неисправными приборами контроля давления масла и воздуха запрещается. Для обеспечения повышенного контроля во многих системах, кроме манометра, устанавливают сигнализаторы давления.

По способу измерения манометры подразделяют на приборы непосредственного действия и электрические. Приборы непосредственного действия имеют чувствительный элемент и указатель, устанавливаемый на приборной панели. Давление контролируемой среды подводится к чувствительному элементу по трубопроводу. К таким приборам относятся манометры с трубчатой пружиной. Трубчатая пружина, обладая высокой чувствительностью, не выдерживает перегрузок давлением и имеет незначительную виброустойчивость. Поэтому трубчатые манометры применяют сравнительно редко.

Электрические манометры основаны на преобразовании неэлектрических величин в электрические и содержат датчик и приемник с указателем, которые связаны линией передачи. Преобразование давления в датчике осуществляется при помощи мембраны. Мембраны подразделяют на плоские и гофрированные. Характеристики различных мембран приведены на рис. 173. Расчет мембран сложен, так как большое число факторов влияет на их характеристики. В настоящее время разработана методика расчета только для гофрированных мембран без краевого гофра, если прогиб не превышает двойной толщины мембраны. При этом характеристика выражается эмпирической кривой третьего порядка.

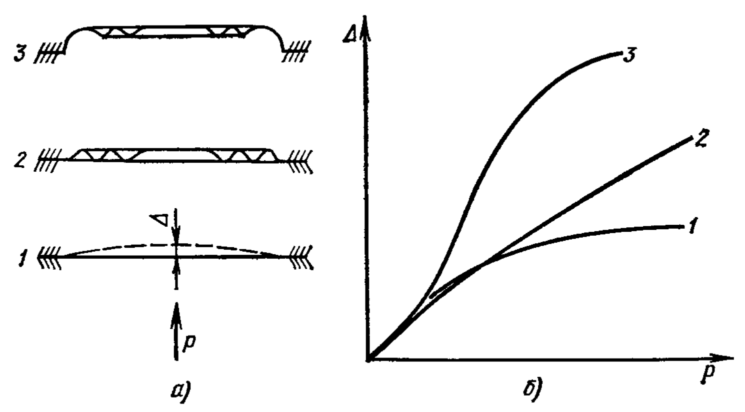


Рис. 173. Мембраны:

а — типы; *б* — характеристики; *1* — плоская; *2* — гофрированная; *3* — с краевым гофром

На практике характеристики мембран определяют экспериментально и выбирают по этим данным наиболее подходящие параметры. Для преобразования перемещения центра мембраны в электрический сигнал применяют термобиметаллическую пластину с контактами и обмоткой или реостат.

Чувствительным элементом могут служить термобиметаллические пластины. Если один конец термобиметаллической пластины (рис. 174) закрепить неподвижно, то при нагревании пластины свободный конец будет перемещаться. Величина перемещения определяется формулой

$$x = \frac{3}{2} \frac{\alpha'_T - \alpha''_T}{h_1 + h_2} l^2 \Delta t,$$

где α'_T и α''_T — коэффициенты линейного расширения инвара и стали;

h_1 и h_2 — толщина слоев инвара и стали;

l — длина нагреваемого участка;

Δt — температура перегрева пластины.

Свойство термобиметалла изменять свою кривизну от нагревания используется в датчике манометра при помощи специального устройства (рис. 174). При прохождении тока по обмотке пластина нагревается, прогибается и размыкает контакты. При разомкнутых контактах ток в цепи прекращается, пластина охлаждается и вновь замыкает контакты. Процесс периодически повторяется. При перемещении нижнего контакта, связанного с мембраной, давление на контактах повышается. Время замкнутого состояния $t_з$ увеличивается, а время разомкнутого состояния $t_р$ уменьшается.

Если пренебречь электромагнитной постоянной обмотки, то действующее значение тока, протекающего по обмотке (рис. 174),

$$I = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^{t_з} i^2\,dt} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^{t_з}\left(\frac{U}{R_0}\right)^2 dt} = I_0\sqrt{\frac{t_з}{T}} = I_0\sqrt{\gamma_з},$$

где R — активное сопротивление обмотки;

$\gamma_з = t_з/T$ — относительная длительность замкнутого состояния контактов.

Из формулы видно, что при неизменном напряжении величина действующего значения тока зависит от относительной длительности замкнутого состояния контактов.

В датчике теплового импульсного манометра перемещение нижнего контакта связано с деформацией мембраны (рис. 175). Приемник такого манометра является электротепловым амперметром с биметаллической пластиной. При давлении 0,2 и 5 кгс/см^2 соответственно частота пульсаций 5—20, 50—70 и 100—130 мин$^{-1}$, а сила тока 0,052, 0,136 и 0,194 А.

К достоинствам импульсных приборов относятся простота конструкции, независимость работы прибора от колебаний питающего напряжения и величины сопротивления соединительного провода. Недостатки импульсных приборов обусловлены наличием контактов, работающих в режиме переключения. Кроме того, импульсные приборы имеют большую инерционность, низкую точность, малый угол размаха.

Типичной конструкцией импульсных приборов является манометр, устанавливаемый на автомобиле «Москвич-412». Манометр состоит из датчика ММ9 и приемника УД251. Датчик (рис. 176) состоит из мембранного узла со штуцером и плоской бронзовой мембраной *13*.

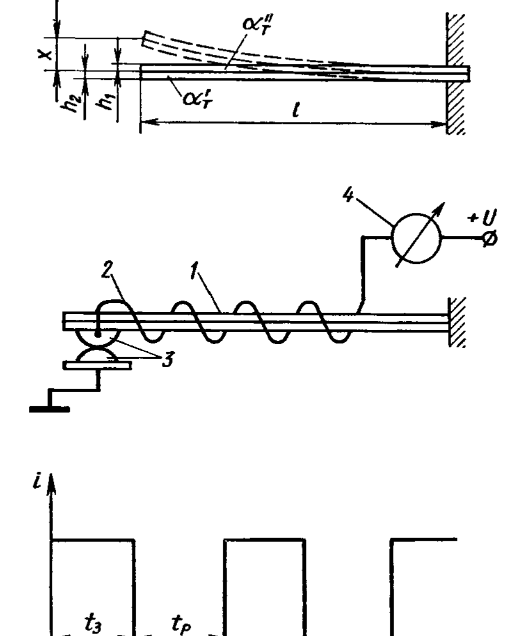


Рис. 174. Использование термобиметаллической пластины в импульсном устройстве:

1 — термобиметаллическая пластина; *2* — нагревательная обмотка; *3* — контакты; *4* — тепловой амперметр

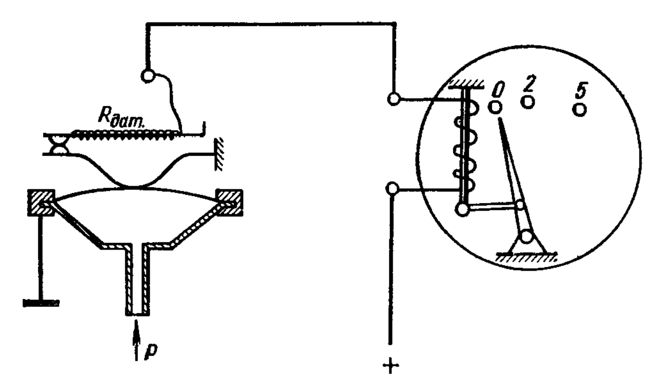


Рис. 175. Электрическая схема импульсного указателя давления

На мембрану опирается бронзовая пружинящая пластина *3* с контактом *6*, соединенным с массой датчика. П-образная термобиметаллическая пластина *4*, закрепленная на регулируемом кронштейне *9*, имеет на свободном конце второй контакт, прижимающийся к контакту *6* на пружинящей пластине.

Контакты датчика изготовлены из сплава (75% серебра и 25% кадмия), П-образная биметаллическая пластина датчика изготовлена из термобиметаллической ленты толщиной 0,3 мм. П-образная форма биметаллической пластины обеспечивает независимость ее работы от изменения температуры окружающей среды. При изменении температуры окружающей среды деформируются оба плеча пластины (рис. 177), а электрический ток нагревает только одно плечо (рабочее), на которое навита обмотка.

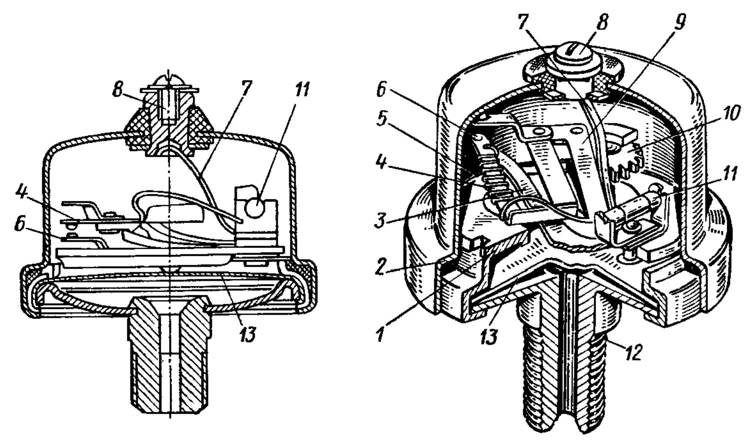
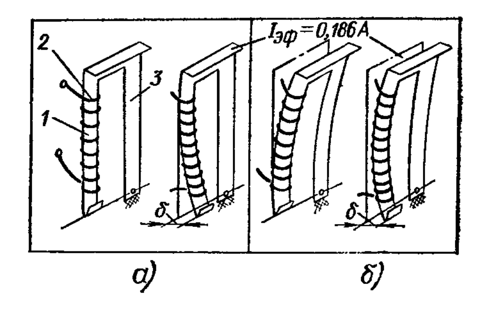


Рис. 176. Устройство датчика импульсного указателя давления:

1 — основание; *2* — кожух; *3* — пластина с контактом; *4* — термобиметаллическая пластина; *5* — обмотка; *6* — контакты; *7* — пружинный контакт; *8* — клемма; *9* — кронштейн; *10* — регулятор; *11* — дополнительный резистор; *12* — корпус; *13* — мембрана

Рис. 177. Деформация П-образной термобиметаллической пластины:

а — $t_{окр}$ 20° С; *б* — $t_{окр}$ 40° С; *1* — рабочее плечо пластины; *2* — обмотка; *3* — компенсационное плечо пластины



Термобиметаллическая пластина активным слоем расположена к мембране и электрически изолирована от массы. На рабочее плечо пластины навита обмотка *5* (см. рис. 176) из константановой проволоки толщиной 0,1 мм, сопротивлением 14 Ом в шелковой изоляции, один конец которой приварен к термобипластине, а второй к выводной клемме. Регулируемый кронштейн, несущий термобиметаллическую пластину с обмоткой, опирается на винтовую поверхность сектора—регулятора *10.* Поворотом сектора можно регулировать степень сжатия контактов, т. е. изменять величину тока датчика. Весь механизм закрыт крышкой.

Приемник состоит из П-образной термобиметаллической пластины, выполненной из термобиметаллической ленты толщиной 0,3 мм. Лента одним концом закреплена на регулирующемся зубчатом секторе *2*, а другим соединена со стрелкой (рис. 178). На рабочее плечо термобиметаллической пластины *3* навита обмотка *5* сопротивлением 36 Ом из проволоки со стеклянной изоляцией. Эта обмотка включена в цепь последовательно с обмоткой датчика. Второе плечо пластины *3*, так же как у датчика, выполняет роль компенсатора изменения внешней температуры. Рабочий конец термобиметаллической пластины указателя имеет крючок,

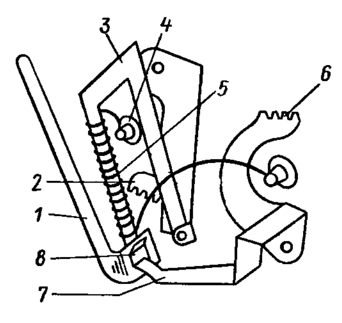


Рис. 178. Устройство приемника указателей импульсной системы:

1 — стрелка; *2* — регулировочный сектор; *3* — термобиметаллическая пластина; *4* — клеммы; *5* — обмотка; *6* — регулировочный сектор; *7* — крючок пружинной пластины сектора; *8* — крючок пластины

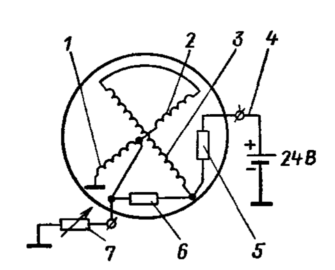


Рис. 179. Электрическая схема манометра с реостатным датчиком и магнитоэлектрическим приемником:

1—3 — катушки приемника; *4* — клемма питания; *5* — добавочный резистор; *6* — термокомпенсационный резистор; *7* — реостат датчика

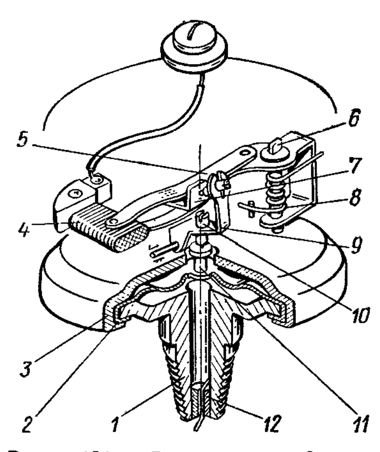


Рис. 180. Реостатный датчик указателя давления

который зацеплен со стрелкой. Крючок на пружинной пластине *7* зубчатого сектора *6* также зацеплен со стрелкой. Путем изменения положения зубчатых секторов *2* и *6* осуществляется регулировка положения стрелки относительно шкалы приемника.

Погрешность импульсных манометров при температуре окружающего воздуха 20 $\pm 5°$ С и питающем напряжении 14 В на точке шкалы, соответствующей 2 кгс/см^2, не должна превышать 0,4 кгс/см^2, а на точке 5 кгс/см^2 — 1 кгс/см^2. Импульсные приборы надежно работают в течение срока, соответствующего 60—80 тыс. км пробега автомобиля.

Более совершенную конструцию имеют манометры с реостатным датчиком и магнитоэлектрическим логометром, которые применяются на автомобиле МАЗ-500 (рис. 179).

Реостатный датчик ММ 350-Б (рис. 180) состоит из гофрированной бронзовой мембраны *2*, завальцованной на корпусе *1* со штуцером при помощи стального ранта *3*, несущего основание рычажного механизма и реостата.

В штуцере грибка установлена дюза *12* (деталь с уменьшенным сечением канала), представляющая собой втулку с вставленной калиброванной проволокой. Дюза необходима для снижения пульсаций давления масла, возникающих в подмембранной полости при пуске и работе двигателя. Проволока служит для самоочистки дюзы. Рычажный механизм датчика имеет две ступени: первая — от мембраны на качалку *9*, вторая — от качалки на поводок *7* с ползунками реостата *5*. Качалка опирается регулировочным винтом *10* на толкатель *11*, закрепленный в центре мембраны, и имеет на верхней части регулировочный винт, упирающийся в лопасть поводка. Поводок установлен на вертикальной оси *6* и под действием регулировочного винта качалки может поворачиваться в горизонтальной плоскости, двигая ползунки по реостату *4*. Поводок соединен с массой гибким канатиком. Реостат имеет линейную характеристику, электрически изолирован от деталей механизма и соединен с выводной клеммой на кожухе.

При повышении давления мембрана деформируется, толкатель поворачивает качалку в вертикальной плоскости, воздействуя на ее штифт. Регулировочный винт качалки толкает поводок, поворачивая его и передвигая ползунки реостата из положения максимального сопротивления в сторону его снижения.

Возвратная пружина *8*, установленная на оси поводка, противодействует прямому ходу деталей, возвращая их в исходное положение после снятия давления и компенсируя зазоры между ними. В механизме датчика предусмотрены линейная и масштабная регулировки. При отсутствии давления посредством регулировочного винта качалки устанавливают максимальное сопротивление реостата, равное 163 Ом (линейная регулировка). При максимальном давлении вращая винт качалки, т. е. меняя плечо действия толкателя на качалку, устанавливают минимальное сопротивление реостата, равное 20 Ом (масштабная регулировка).

Приемник магнитоэлектрической системы (рис. 181) с указателем УК-144 состоит из двух пластмассовых полукаркасов *2*, на которые намотаны три измерительные катушки *5* (на рисунке не показаны). Одна катушка (w_3) (см. рис. 179) расположена под углом 90° к двум другим (w_1 и w_2). Постоянный магнит *3* установлен внутри каркаса на одной оси со стрелкой *6*. Магнит может поворачиваться, ориентируясь вдоль магнитных силовых линий результирующего вектора напряженности трех катушек.

Катушки намотаны проводом ПЭВ 0,1 и имеют следующие параметры: $w_1 = 850$ витков ($R_1 = 114$ Ом), $w_2 = 850$ витков ($R_2 = 114$ Ом), $w_3 = 1100$ витков ($R_3 = 140$ Ом).

В нижней части каркаса установлены подпятник *4* оси магнита и стрелки. Мостик *7* закреплен на каркасе и служит опорой шкалы прибора. Между мостиком и шайбой, закрепленной на оси магнита, а также в подшипник мостика вводят кремнийорганическую жидкость, которая демпфирует колебания подвижной системы в условиях вибрации. Для возврата подвижной системы в нулевое положение при выключенном приборе служит миниатюрный магнит, заложенный между полукаркасами. Для того чтобы исключить воздействие на магнит посторонних магнитных полей и влияние полей катушек на показания других приборов, собранный каркас размещают в цилиндрическом экране *1*, выполненном из низкоуглеродистой стали.

Основная погрешность на всех точках шкалы манометра не превышает ±0,5 кгс/см² (при температуре окружающего воздуха 20 ± 5° С и напряжении питания 14 В). Срок службы магнитоэлектрического манометра превышает 150 тыс. км пробега автомобиля.

Приборы с реостатным преобразователем и магнитоэлектрическим логометром можно использовать и для указателя уровня топлива.

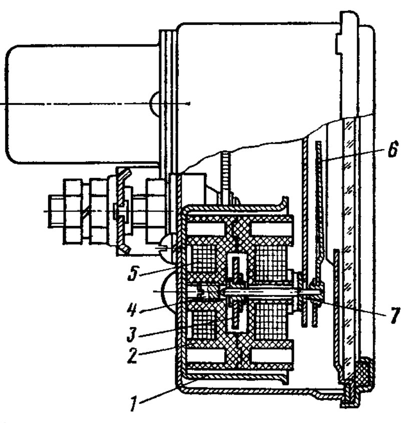


Рис. 181. Конструкция приемника магнитоэлектрической системы.

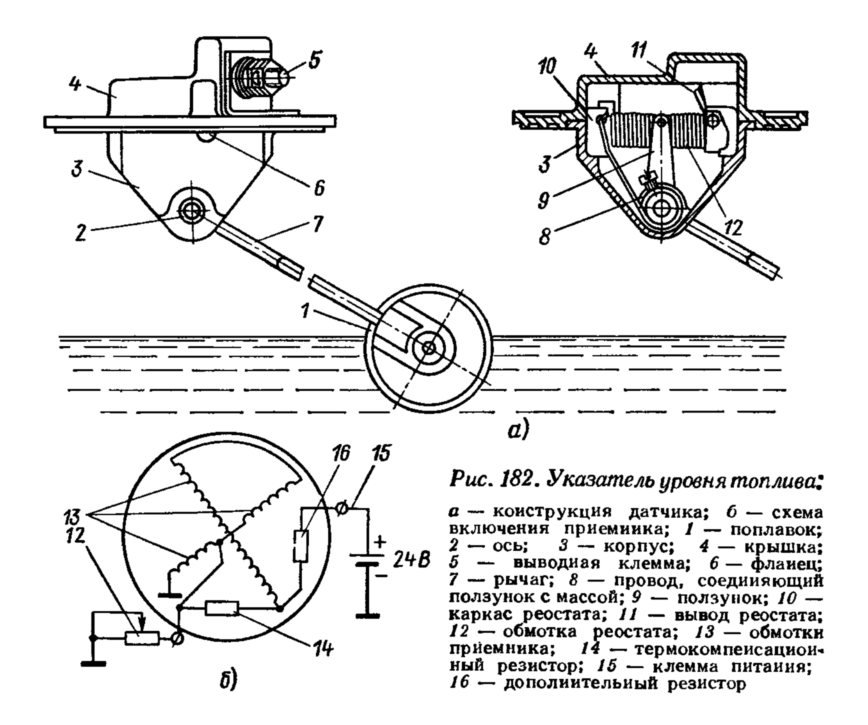


Рис. 182. Указатель уровня топлива:

а — конструкция датчика; *б* — схема включения приемника; *1* — поплавок; *2* — ось; *3* — корпус; *4* — крышка; *5* — выводная клемма; *6* — фланец; *7* — рычаг; *8* — провод, соединяющий ползунок с массой; *9* — ползунок; *10* — каркас реостата; *11* — вывод реостата; *12* — обмотка реостата; *13* — обмотки приемника; *14* — термокомпенсационный резистор; *15* — клемма питания; *16* — дополнительный резистор

На рис. 182 представлена принципиальная схема указателя уровня топлива магнитоэлектрического типа для автомобиля МАЗ-500. Конструкция приемника магнитоэлектрического указателя уровня топлива аналогична конструкции магнитоэлектрического манометра, описанного выше. Отличается приемник только числом витков катушек и шкалой.

Датчик помещен в корпус *3*, крышка *4* которого имеет установочный фланец *6* и выводную клемму *5*. В нижней части корпуса установлен реостат, выполненный из текстолитовой пластины *10* с намотанной на нее с неравномерным шагом нихромовой проволочкой *12* диаметром 0,2 мм, общим сопротивлением 90 Ом. Один конец намотки реостата соединен с клеммой, а второй — с массой. Соединение с массой обеспечивает отсутствие искрения.

Ползунок *9* реостата установлен на вращающейся оси *2* и связан с подвижным рычагом *7*, на конце которого закреплен пластмассовый поплавок *1*. Корпус датчика установлен на верхней крышке топливного бака таким образом, что рычаг с поплавком расположен внутри бака. При понижении уровня топлива поплавок с рычагом перемещается вниз, а ползунок по обмотке реостата в сторону уменьшения сопротивления реостата.

Величина сопротивления датчика определяет соотношение токов в обмотках приемника и соответственно положение вращающегося магнита и стрелки приемника. Шкала прибора отгра-

дуирована в долях объема бака.

Автомобильные баки имеют сложную форму. Изменение уровня топлива не прямо пропорционально изменению количества топлива.

Перемещение ползунка реостата имеет линейную зависимость от угла поворота рычага и нелинейную от изменения уровня топлива. Зависимость положения ползунка реостата от изменения объема топлива характеризуется лучевой диаграммой (рис. 183). На рисунке буквой h обозначены уровни топлива в баке, цифры около h обозначают степень заполнения бака. Если бак пустой, то буквой α обозначен угол между подвижным рычагом и вертикалью; буквы β, γ, δ, ρ обозначают углы поворота рычага, соответствующие разным уровням топлива. Функциональную характеристику реостата подбирают таким образом, чтобы обеспечить равномерность шкалы приемника, т. е. при заполнении бака одинаковыми объемами топлива стрелка приемника должна поворачиваться на один и тот же угол.

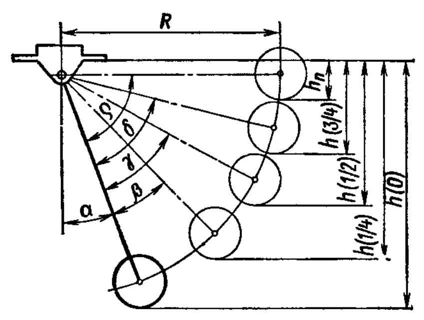


Рис. 183. Лучевая диаграмма топливного бака

Кроме указателей уровня топлива магнитоэлектрического типа на некоторых автомобилях применяют приборы с двухкатушечным приемником электромагнитного типа, подвижная система которых состоит не из постоянного магнита, а из стального якорька. Электромагнитные указатели топлива по сравнению с магнитоэлектрическими приборами имеют меньший угол размаха шкалы и большую погрешность в измерении.

§ 31. Приборы измерения температуры

Эффективность работы систем и агрегатов автомобиля и трактора в значительной степени зависит от их температурного режима. Контроль температурного режима осуществляется при помощи термометра и сигнализатора температуры.

Автотракторные термометры и сигнализаторы температуры являются дистанционными электрическими приборами. По типу датчика их можно разделить на термобиметаллические импульсные и термометры сопротивления.

В термобиметаллическом импульсном термометре чувствительным элементом датчика является пластина из биметалла, установленная в латунном герметически закрытом баллоне. Термобиметаллическая пластина не требует термокомпенсации, так как датчик помещают в среду, температуру которой необ-

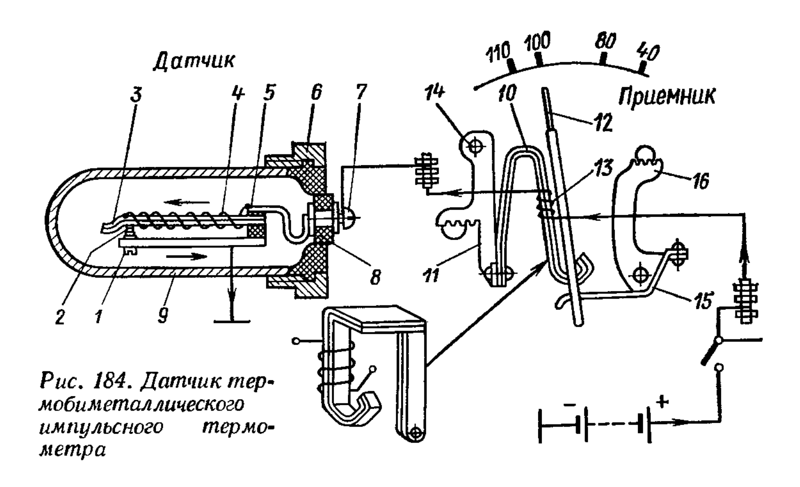


Рис. 184. Датчик термобиметаллического импульсного термометра

ходимо контролировать. Указатель такого термометра выполнен из биметаллической пластины П-образной формы.

В термометре сопротивления чувствительным элементом датчика является терморезистор в виде небольшого диска, установленный в латунном корпусе датчика. Терморезистор включен последовательно с магнитоэлектрическим указателем.

Термобиметаллический импульсный термометр состоит из датчика и стрелочного указателя. Датчик (рис. 184) представляет собой латунный тонкостенный баллон *9*, закрепленный в корпусе *6*. Корпус имеет коническую резьбу. Термобиметаллическая пластина *3* баллона закреплена на изоляторе основания *8*. На пластину намотана нагревательная обмотка *4* сопротивлением 14 Ом. Один конец этой обмотки соединен с контактом *2*, а второй через контактную деталь *5* подходит к выводному зажиму *7*. Неподвижный контакт *1* соединен с корпусом датчика (массой).

Приемник термометра состоит из П-образной термобиметаллической пластины *10*. На рабочем плече пластины намотана нагревательная обмотка *13* сопротивлением 40 Ом. Рабочее плечо пластины шарнирно соединено со стрелкой *12*, а термокомпенсационное закреплено на регулировочном секторе *11*, который может смещаться относительно его оси *14* при регулировке. Сектор *16* с упругой пластиной *15* создает шарнирную опору стрелки и прижимает ее к рычагу на конце термобиметаллической пластины. У этого сектора также имеются зубья для регулировки.

В исходном положении рабочее плечо пластины не изогнуто, контакты замкнуты и стрелка находится в крайнем правом положении. При включении прибора по нагревательным обмоткам термобиметаллических пластин датчика и указателя протекает ток. Пластина датчика нагревается, изгибается и размыкает контакты. Нагревательные обмотки отключаются, происходит охлаждение пластин, и контакты вновь замыкаются.

Очевидно, что чем выше температура среды, окружающей пластину датчика, тем быстрее она нагревается и тем медленнее остывает. Относительное время замкнутого состояния контактов тем меньше, чем выше температура датчика. Действующее значение тока, протекающего по нагревательной обмотке указателя, $I = I_0\sqrt{\gamma}$. При включенном приборе и низкой температуре ток I и изгиб пластины указателя имеют максимальные значения. При повышении температуры датчика ток I уменьшается, нагрев рабочего плеча пластины указателя и ее изгиб снижаются.

Контакты при предельной температуре среды (110° С) должны быть замкнутыми. Для регулирования силы прижатия неподвижный контакт датчика установлен на регулировочный винт. Указатели и датчики термобиметаллических импульсных термометров взаимозаменяемы. Термометр сопротивления состоит из датчика и стрелочного логометрического указателя.

Датчик представляет собой латунный баллон *1* (рис. 185), к плоскому донышку которого прикреплен терморезистор *4*. Баллон на конической резьбе ввернут в блок двигателя таким образом, что его дно погружено в охлаждающую жидкость. Конструкция датчика обеспечивает хорошую теплопередачу между охлаждающей жидкостью и терморезистором благодаря плотному его прижатию к дну баллона при помощи пружины *3*. Прижимная пружина является токоведущей и изолирована от баллона втулкой *5*. Датчик выполнен неразборным, его верхняя часть завальцована.

Приемник магнитоэлектрического термометра имеет конструкцию, аналогичную конструкции магнитоэлектрического манометра, и отличается только числом витков катушек и шкалой. Электрическая схема термометра сопротивления приведена на рис. 185. Для унификации конструкции и обмоточных данных для термометра напряжением 12 В в корпусе логометра помещают термокомпенсационный резистор из константана сопротивлением 100 Ом, а для термометра напряжением 24 В устанавливают дополнитель-

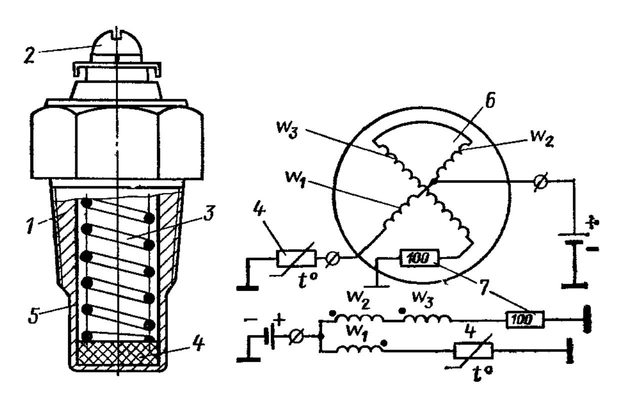


Рис. 185. Полупроводниковый датчик и схема магнитоэлектрического указателя температуры:

1 — баллон; *2* — клемма; *3* — пружина; *4* — терморезистор; *5* — изоляционная втулка; *6* — датчик; *7* — термокомпенсационный резистор

ный разистор, включенный последовательно с обмотками указателя.

Термометры сопротивления не имеют размыкающихся электрических контактов, обеспечивают лучшую читаемость показаний (за счет большего угла перемещения стрелки), испытывают меньшее влияние изменения питающего напряжения и температуры окружающей среды. Термометры сопротивления рассмотренной конструкции имеют открытое исполнение в комбинации с другими приборами и исполнение в отдельном корпусе.

Сигнализаторы температуры устанавливают на машинах в дополнение к термометру. Они подают сигнал при нарушениях теплового режима системы или агрегата машины. Датчик сигнализатора имеет термобиметаллическую пластину без нагревательной обмотки, управляемой контактами. При замыкании контактов включается сигнальная лампа, установленная на приборной панели.

В двигателях с жидкостным охлаждением датчик сигнализатора устанавливают в верхний бачок радиатора, а при воздушном охлаждении — в систему смазки. По температуре масла определяют температуру двигателя. Сигнализаторы температуры устанавливают также в автоматических коробках передач.

Датчики сигнализаторов температуры выпускаются с регулируемыми и нерегулируемыми контактами на номинальное напряжение 12 и 24 В. Сигнальные лампы имеют силу света от 1 до 1,5 кд.

§ 32. Конструкция и оформление щитков и приборов

Контрольные приборы автотракторного электрооборудувания для монтажа на приборной панели конструктивно объединяют в единый комплекс, называемый панелью приборов. В зависимости от конструкции панель приборов может быть выполнена или как щиток приборов, или как комбинация приборов. Щитком называется панель приборов, в котором отдельные приборы смонтированы на специальном основании (рис. 186, *а*). Такой способ монтажа обеспечивает легкую замену отдельных приборов во время эксплуатации.

В комбинации приборов механизмы указателей монтируют в едином для всей панели металлическом или пластмассовом кожухе, закрытом с лицевой стороны защитным стеклом (рис. 186, *б*). Такое выполнение панели уменьшает ее габаритные размеры, улучшает внешний вид, обеспечивает рациональное освещение шкал, упрощает монтаж комплекса на панели приборов. Однако в комбинации приборов усложняется замена неисправных механизмов отдельных приемников.

Возможно применение смешанной конструкции панели приборов, когда часть приборов смонтирована на щитке, часть в ком-

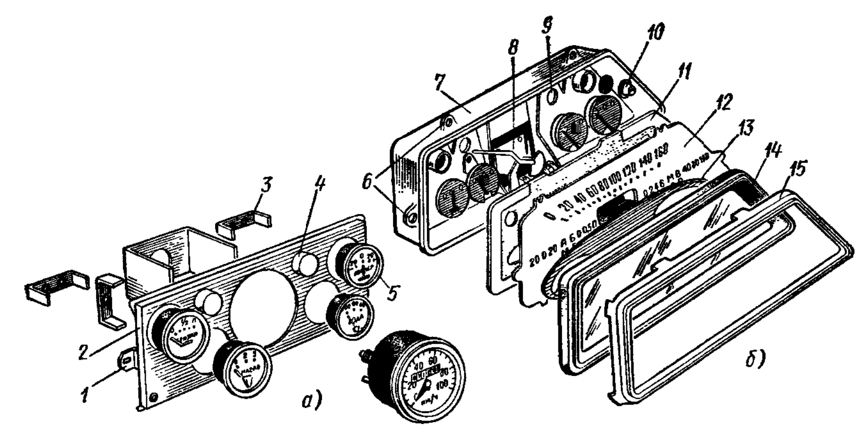


Рис. 186. Панель приборов:

а — щиток приборов; *б* — комбинация приборов; *1* — крепежное ушко; *2* — основание; *3* — скоба; *4* — колпак; *5* — приемники; *6* — ушки; *7* — кожух; *8* — механизмы приемников; *9* — отверстие для осветительной лампы; *10* — светофильтр сигнальной лампы; *11* — подшкальник; *12* — шкала; *13* — экран; *14* — стекло с прокладкой; *15* — рант

бинации, а некоторые приборы (например, часы) смонтированы на приборной панели автомобиля индивидуально.

Независимо от конструктивного исполнения панели приборов обладают высокой надежностью. Их выполняют в пылезащитном или пылебрызгонепроницаемом исполнении. Защищенность приборов от пыли и брызг обеспечивается путем установки специальных уплотнительных прокладок под рантом и около отверстий для патронов осветительных и сигнальных ламп.

Основными требованиями, предъявляемыми к панелям при их разработке, являются обеспечение травмобезопасности водителя, хорошей обзорности, достаточной видимости шкал указателей и сигнальных ламп, хорошей читаемости показаний.

Травмобезопасность обеспечивается при расположении приборной панели в зоне, недоступной для удара о нее головой при авариях и наездах, т. е. под рулевым колесом. Недопустимо наличие на поверхности панели приборов выступающих деталей, рукояток и острых рантов. Приборы не должны быть закрыты от водителя рулевым колесом, рычагами и другими органами управления. Для улучшения видимости лицевая поверхность панели приборов установлена перпендикулярно линии взора водителя. Размеры шкал, стрелок, их расцветку, освещение, взаимное расположение и др. подбирают с учетом обеспечения наиболее рационального, быстрого и безошибочного считывания их показаний.

На рис. 187 показаны наиболее типичные примеры оформления панелей приборов. Для автомобильных приборов характерно малое число делений, соответствующих характерным контроли-

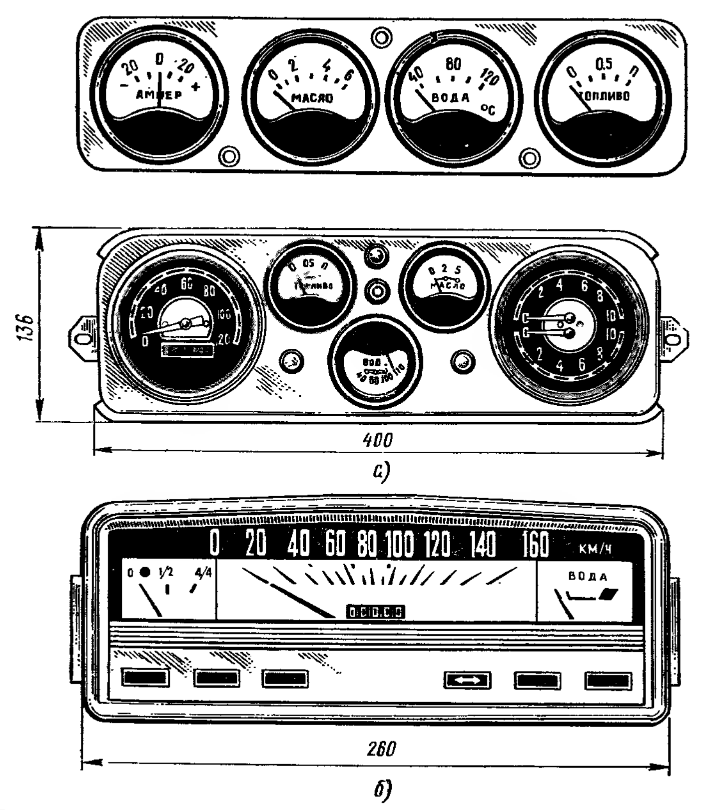


Рис. 187. Примеры оформления лицевой части и панелей приборов:
а — щиток приборов; *б* — комбинация приборов

руемым режимам, четкие очертания стрелок, цифр и делений, отсутствие излишних надписей и декоративных деталей, отвлекающих внимание водителя. Цвет шкалы может быть светлым или темным, цвет информативных элементов (стрелки, деления) должен быть контрастным. Распространены стрелки ярко-красного цвета. Форма шкалы и лицевой части предпочтительна круглая, но возможно применение и прямоугольных шкал. Выполнение перечисленных требований обеспечивает наилучшую читаемость показаний автомобильных приборов.

Под читаемостью подразумевают свойство обеспечивать четкую передачу информации с максимальной скоростью и точностью. Читаемость оценивается числом ошибок, допускаемых водителем при восприятии информации при ограниченном времени восприятия. Считается, что для соблюдения необходимых условий безопасности движения время считывания информации с контрольных приборов автомобиля не должно превышать 2—3 с.

Для четкого восприятия информации большое значение имеет расположение (компоновка) контрольных приборов и сигнальных ламп на приборной панели автомобиля. Приборы и лампы одинакового назначения целесообразно группировать на приборной панели в одном определенном участке. Место каждого прибора и сигнальной лампы определяется степенью значимости информации и частотой обращения к ней водителя. Степень важности приборов и групп приборов должна убывать от центра панели к периферии.

Приборы и сигнальные лампы по назначению подразделяются на группы обеспечения безопасности движения, контроля за состоянием двигателя, контроля систем обеспечения, комфорта пассажиров и водителя и приборы вспомогательных механизмов (группы перечислены в порядке убывания их важности). Среди приборов одинакового назначения степень важности определена частотой обращения к ним водителя, а среди сигнальных ламп — степенью аварийности сигнала. Цвет, яркость, размер и расположение сигнальных ламп выбирают в соответствии с назначением сигнала таким образом, чтобы сигнал был хорошо виден при ярком дневном освещении и не создавал зрительного дискомфорта (ослепления) в темное время суток.

Работа водителя автомобиля в темное время в значительной степени зависит от освещения шкал приборов, которое должно обеспечивать хорошую читаемость показаний и спокойный ровный свет, не слепящий водителя и не создающий раздражающего контраста с общим фоном.

Применяют несколько способов освещения приборов (рис. 188). Наиболее простым способом является так называемое наружное освещение (рис. 188, *а*). Приборы освещены лампами, расположенными в специальных колпачках, выступающих над поверхностью панели приборов. Свет от ламп проходит сквозь прорези в колпачках. Размер и конфигурацию прорезей подбирают в зависимости от конфигурации освещаемой панели. При этом одна лампа может освещать шкалы нескольких приборов (рис. 188, *б*). Недостатком этого способа является трудность обеспечения ровного освещения. Наличие на панели выступающих колпачков ухудшает ее внешний вид и противоречит требованиям травмобезопасности.

При боковом освещении (рис. 188, *в*) осветительные лампы расположены под поверхностью основания щитка. Шкалы освещены через прорези в кожухах приборов, закрытых прозрачным материалом. Наличие прорези в кожухе прибора является недостатком, так как при этом возможно нарушение герметичности прибора.

Наиболее рациональный способ — внутреннее освещение (рис. 188, *г*), при котором осветительная лампа установлена внутри кожуха прибора и освещает его внутреннее пространство. Свет на шкалу падает через зазор между шкалой и кожухом. Иногда в зазор между шкалой и кожухом вставляют светопро-

а) б) в)

г) д) е)

Рис. 188. Освещение шкал приемников

вод из прозрачного оргстекла (рис. 188, *д*), что повышает равномерность освещенности. Внутреннее освещение применяется как для приборов в индивидуальном исполнении, так и для комбинаций приборов. В этом случае одной лампой могут быть освещены одновременно несколько шкал.

Разновидностью внутреннего освещения является подсветка в торец (рис. 188, *е*). Шкала и стрелка выполнены из прозрачного оргстекла и играют роль светопровода для света, падающего от осветительной лампы. При включении освещения стрелка и цифры шкалы ярко освещены. Степень освещенности можно регулировать при помощи реостата, установленного в цепь осветительных ламп.

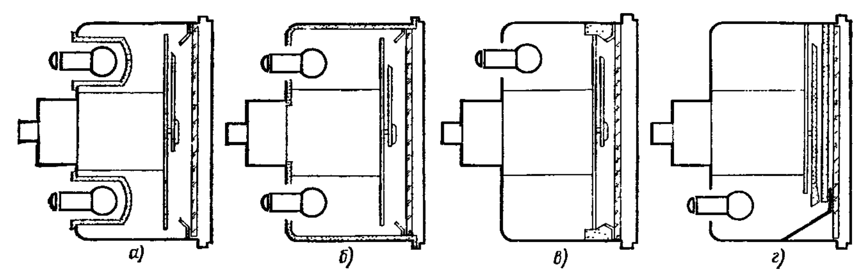


Рис. 189. Примеры цветного освещения шкал приборов

На панелях приборов современных автомобилей применяют цветное освещение, что улучшает условия работы водителя и повышает комфортабельность. На рис. 189 представлены примеры получения цветного освещения шкал приборов. Цвет освещения может быть получен путем установки окрашенных светофильтров, расположенных около ламп (рис. 189, *а*), окраски внутренних стенок кожуха приборов (рис. 189, *б*), применения светопровода из цветного оргстекла (рис. 189, *в*) или подсветки в торец стрелок и шкалы из окрашенного оргстекла (рис. 189, *г*).

Все щитки и комбинации приборов независимо от их конструктивного исполнения обладают высокой надежностью и не требуют специального обслуживания. Следует отметить, что питание контрольно-измерительных приборов осуществляется в основном по однопроводной схеме. Поэтому при проверке приборов необходимо соединять корпуса датчиков и указателей с отрицательным полюсом источника тока.

Глава VII. СИСТЕМА ОСВЕЩЕНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ И ТРАКТОРОВ

§ 33. Общие сведения об осветительных и светосигнальных автотракторных приборах

Основными параметрами, которые определяют и характеризуют осветительный или светосигнальный прибор, являются:

активная поверхность оптической системы;

световое отверстие;

телесный или плоский угол φ охвата;

углы излучения и рассеяния;

фокус и фокусное расстояние реальной системы;

коэффициент отражения (для отражателей);

коэффициенты пропускания и поглощения (для рассеивателей).

Активной поверхностью оптической системы осветительного или светосигнального прибора называется поверхность, которая отражает по закону зеркального отражения падающий на нее световой поток источника света.

Оптическая ось осветительного или светосигнального прибора представляет собой обычно ось симметрии этого прибора.

Световым отверстием оптической системы называется проекция активной поверхности оптической системы на плоскость, перпендикулярную к оптической оси.

Телесный угол охвата системы — угол, в пределах которого видна активная поверхность оптической системы из точки на ее оптической оси. Этой точкой обычно является фокус оптической системы. При сечении телесного угла охвата меридиональной плоскостью (плоскостью, проходящей через ось вращения параболоида) получают плоский угол охвата в данной меридиональной плоскости (рис. 190). На практике чаще используют плоский угол охвата. Оптические системы осветительных и светосигнальных приборов в зависимости от величины максимального плоского угла охвата φ_{max} (рис. 191) делят на мелкие ($\varphi_{max} < 90°$) и глубокие ($\varphi_{max} > 90°$).

Угол излучения α_0 оптической системы — это телесный угол, в котором сконцентрирован отраженный активной поверхностью и вышедший из системы световой поток.

Под углом рассеяния понимают телесный угол, в котором заключен используемый для освещения световой поток оптической системы. Угол рассеяния может быть различным в зависимости от типа и назначения осветительного или светосигнального

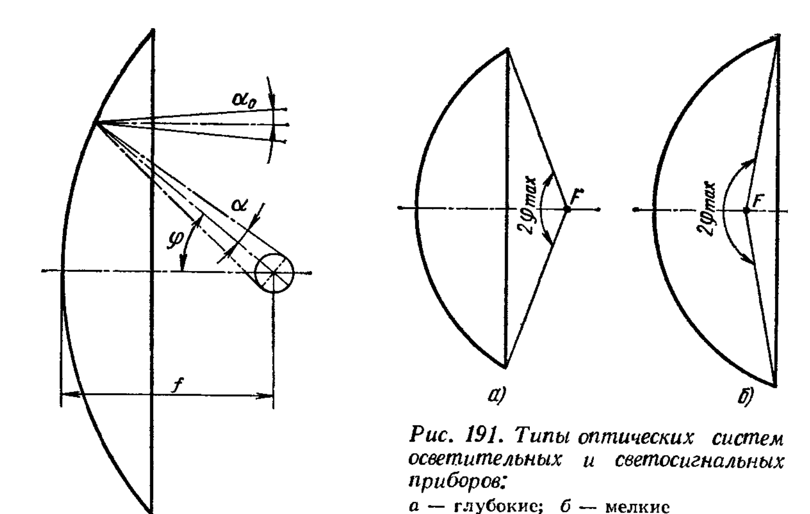


Рис. 191. Типы оптических систем осветительных и светосигнальных приборов:

а — глубокие; б — мелкие

Рис. 190. Элементы параболоидного отражателя при сечении угла охвата меридиональной плоскостью

прибора. Он выражается в процентном отношении от максимальной силы света прибора и определяет использование той или иной части светового пучка.

Фокусом реальной оптической системы считается точка на оптической оси, с которой следует совместить центр тела накала источника света с тем, чтобы световой пучок данной системы в наименьшей степени отличался от светового пучка той же системы, выполненной идеально. Фокусом идеальной оптической системы считается точка на ее оптической оси, в которой соберутся после отражения световые лучи, падающие на оптическую систему параллельно ее оптической оси.

Фокусным рассеянием f называется расстояние вдоль оптической оси от фокуса до точки пересечения оптической оси с вершиной параболоида. Коэффициент отражения ρ оптической системы — отношение отраженного потока к световому потоку, падающему на отражающую поверхность:

$$\rho = F_{отр}/F_{пад}.$$

Коэффициентом пропускания τ оптической системы называется отношение светового потока, прошедшего через тело, к световому потоку, падающему на это тело:

$$\tau = F_{прош}/F_{пад}.$$

Коэффициент поглощения γ оптической системы — отношение светового потока, поглощенного системой, к световому потоку, падающему на данную систему:

$$\gamma = F_{погл}/F_{пад}.$$

Сущность действия оптической системы автотракторных фар заключается в том, что большая часть светового потока источника света отражается оптической системой в пределах телесного угла охвата и после отражения направляется вдоль оптической оси внутри сравнительно малого телесного угла излучения. Вследствие этого увеличивается концентрация светового потока внутри угла излучения. При этом оптическая система может характеризоваться коэффициентом усиления

$$K_у = I_{max}/I_0,$$

где I_{max} — максимальная сила света преобразованного светового потока оптической системы;

I_0 — сила света источника, помещенного в оптическую систему.

Часть светового потока, не отраженная отражающей поверхностью, а исходящая непосредственно от источника света, называется непреобразованной. При расчете оптических систем фар эта часть светового потока не учитывается и в большинстве случаев экранируется, так как прямые лучи, исходящие из оптической системы, имеют большой угол рассеяния и создают дополнительные помехи во время движения в тумане и при непогоде. Непреобразованная часть светового потока учитывается при расчете светосигнальных систем, ибо является параметром, улучшающим фотометрические характеристики фонарей. Многие из перечисленных параметров определяются материалами, из которых изготовляют элементы рассматриваемых приборов.

Материалы, применяемые для светотехнических и осветительных приборов, обладают разнообразными свойствами. Так, например, материалы, используемые для изготовления осветительных приборов, должны максимально отражать сконцентрированный световой поток. Такими свойствами характеризуются материалы после соответствующей обработки, например зеркальные, полированные, алюминированные, хромированные и др. Коэффициент отражения ρ этих материалов высокий (0,6—0,9). Для осветительных и светосигнальных приборов отражающий слой, как правило, наносят гальваническим способом или в вакууме на поверхности, являющиеся светооптической частью прибора. Другую группу составляют материалы, пропускающие свет.

В зависимости от того, для какой цели применяют осветительный или светосигнальный прибор, соответственно подбирают материал. Если прибор предназначен для освещения проезжей части, то для рассеивателя используют материал с максимальным коэффициентом пропускания. Материалы с направленным светопропусканием могут характеризоваться постоянством телесного угла в падающем и пропущенном свете.

Светосигнальные приборы должны обладать способностью увеличивать угол потока, выходящего из светооптической системы. Для развертывания светового потока применяют специальные

рассеиватели с опрессованными на их поверхности линзами или призмами. В зависимости от назначения светосигнальных приборов их снабжают рассеивателями различной цветовой окраски с разными коэффициентами пропускания.

Для осветительных и сигнальных приборов широко используют материалы с направленно рассеивающим пропусканием света. Спецификой прохождения светового потока через такие материалы является то, что телесный угол пропущенного светового потока больше телесного угла падающего светового потока. Этого достигают путем применения материала, через который проходит световой поток, обладающего определенной шероховатостью после соответствующей механической обработки или обработки химическим способом (нанесением микрорельефа — матирование поверхности), поверхность как бы снабжают микроскопическими линзами или призмами. Последние, преломляя падающие лучи, рассеивают выходящий световой пучок в большем телесном угле. К материалам с направленно рассеивающим пропусканием света относятся силикатные и органические стекла. Матированные материалы применяют в основном для изготовления плафонов, предназначенных для кабины автомобиля или салона автобуса. Обычно используют плафоны с внутренней матированной поверхностью, что повышает их надежность в эксплуатации, поскольку свойства материала с наружной матированной поверхностью быстрее ухудшаются при устранении загрязнений с поверхности плафонов.

Коэффициенты пропускания τ и отражения ρ для матированных поверхностей находятся соответственно в пределах 0,74—0,83 0,14—0,09. Меньшие значения относятся к материалам, поверхность которых матирована механической обработкой, а большие — химическим способом.

Для плафонов салонов автобусов или кабин автомобилей можно также применять диффузно пропускающие свет материалы. Диффузными называют такие материалы, после прохождения через которые световой пучок распределяется в телесном угле, равном 2π стерадиан. Диффузное рассеяние светового потока достигается при применении материала с соответствующими шероховатостью и пористостью поверхности. Диффузно пропускающие свет материалы можно получить добавлением в обычное стекло глушащих веществ. Световой пучок во время прохождения через такой материал многократно преломляется и отражается, в результате чего материал представляется равномерно светящимся. Глушеные стекла, диффузно пропускающие свет, называют *молочными*.

Материалы, применяемые для плафонов, имеют коэффициенты пропускания и отражения соответственно 0,38—0,53 и 0,40—0,32. Меньшие значения характерны для стеклянных диффузно пропускающих свет материалов, а бо́льшие для глушеных органических стекол.

Основным требованием, предъявляемым к осветительным автотракторным приборам, является обеспечение видимости в темное время суток. Причины ухудшения условий видимости в темное время суток следующие: недостаточная или неравномерная освещенность дороги и предметов на ней; снижение способности различения зрительного аппарата в результате воздействия встречных источников, обладающих повышенной силой света в направлении траектории движения глаз водителя встречной машины.

По мере совершенствования автомобилей и создания новых типов с лучшими динамическими качествами, а также повышения интенсивности движения как в дневных условиях, так и в темное время суток проблема удовлетворительной освещенности дороги и предметов на ней приобретает большую актуальность.

В настоящее время во всех странах проводят работу по улучшению условий видимости в темное время суток, и прежде всего при встречном разъезде. Одним из основных и наиболее реальных направлений в решении этого вопроса является разработка конструкции фар с рациональным светораспределением.

Устанавливают стационарные светильники, обеспечивающие освещение проезжей части от городских сетей. Однако из-за высокой стоимости стационарные светильники применяют лишь в городских и поселковых условиях, а также на отдельных наиболее опасных участках дорог с высокой интенсивностью движения.

Используют устройства, частично защищающие водителей от воздействия света фар встречных автомобилей. К ним относится большая группа устройств, автоматически срабатывающих при встречном движении транспортных средств, что позволяет несколько ослабить слепящее воздействие фар. Сюда же можно отнести фары, втягивающиеся внутрь корпуса автомобиля; фары, снабженные жалюзи; устройства, превращающие ветровое стекло в цветной светофильтр с пониженным коэффициентом пропускания (позволяют ускорять процесс адаптации водителя после встречного разъезда); устройства, автоматически переключающие дальний свет на ближний и др.

Однако эти устройства широко не применяются из-за присущих каждому из них недостатков. Так, например, фары, втягивающиеся внутрь корпуса автомобиля, уменьшают освещенность и искажают светораспределение на дорожном полотне. При применении жалюзи для фар уменьшается осевая сила света фар, так как жалюзи, поворачиваясь вправо или вниз, перекрывают часть светового потока фар. Освещение ветрового стекла несколько сокращает время адаптации после разъезда встречных автомобилей, однако условий видимости дороги не улучшает.

Устройства, автоматически переключающие свет фар с дальнего света на ближний, частично облегчают управление автомобилем в условиях встречного движения.

Разрабатывают фары с поляризованным светом. Использование свойств поляризации света позволяет создать неслепящую систему освещения. Для создания такой системы освещения необходимо поверхность рассеивателя покрыть поляроидной пленкой, которая превращает неоднородные колебания обычного света в однородные. Поверхность ветрового стекла кабины следует также покрыть поляроидной пленкой.

Поляроидная пленка представляет собой комбинацию мелких кристаллов и работает по принципу призмы Николь. Однако при прохождении светового потока через поляроидную пленку часть его поглощается, и для компенсации потерянного светового потока возникает необходимость в увеличении его исходной величины.

Сущность получения поляризованного света заключается в том, что рассеиватель, снабженный поляроидной пленкой, пропускает световые лучи, поляризованные под углом 45° к горизонтальной плоскости. Поляроидная пленка, расположенная на ветровом стекле кабины автомобиля, способна пропустить эти лучи. Поляроидные пленки на рассеивателях и ветровом стекле кабин встречных автомобилей имеют плоскость поляризации, направленную под углом 90°, а следовательно, свет фар встречных автомобилей виден, как две светящиеся точки. Практически поляризованный свет можно считать неслепящим.

В настоящее время, когда широко применяются мощные источники питания и галогенные лампы, появление фар с поляризованным светом становится возможным. Наиболее реальный путь обеспечения видимости в темное время суток — разработка фар с рациональным светораспределением. Рациональным светораспределением считается такое, при котором достигается освещение препятствий на проезжей части дороги на расстоянии 60—80 м от автомобиля. При этом освещенность должна быть минимальной в зоне расположения глаз водителя встречного транспорта. Кроме того, фары должны обеспечивать так называемый критический контраст между препятствием и фоном, который превышает пороговый контраст, необходимый для обнаружения препятствия. Величина порогового контраста зависит от параметров препятствия и уровня яркости фона, на котором препятствие распознается. Освещенность проезжей части и препятствий на ней, создаваемая фарами, уменьшается с увеличением расстояния до препятствия. Если на расстоянии до 10 м освещенность проезжей части от пучка фар достигает 50 лк и более, то уже на расстоянии 30—50 м она снижается до 2—3 лк. Принято считать, что освещенность препятствия на фоне полотна дороги 2 лк является достаточной для своевременного обнаружения препятствия. Такую освещенность дорожного полотна и препятствий на нем создают современные фары на расстоянии 180—250 м при дальнем свете и на расстоянии 50 — 75 м при ближнем свете.

§ 34. Фары

Все автомобили и другие транспортные средства, предназначенные для передвижения по дорогам, могут быть оборудованы следующими приборами дорожного освещения: фарами дальнего и ближнего света, противотуманными и дополнительными фарами.

В 1958 г. была организована Европейская Экономическая Комиссия при Организации Объединенных Наций (ЕЭК ООН) во главе с Комитетом по внутреннему транспорту для разработки единых требований на осветительные и светосигнальные приборы. ЕЭК ООН приняла и утвердила ряд правил, содержащих требования к автомобильным фарам, лампам накаливания для фар и фонарей, световозвращателям, светосигнальным фонарям, галогенным автомобильным лампам. Так, например, Правила № 1 содержат единообразные предписания, касающиеся официального утверждения автомобильных фар с асимметричным ближним и дальним светом или с тем и другим из них.

В соответствии с требованиями ГОСТ 8769—75 фары ближнего и дальнего света должны быть установлены на автомобиле на определенных расстояниях от поверхности дорожного полотна и наружного края транспортного средства.

Выпускаемые в настоящее время в нашей стране и за рубежом фары классифицируются двумя асимметричными системами светораспределения: европейской и американской.

Фары с европейской системой светораспределения допускаются к эксплуатации во всех странах мира, если горизонтальная линия, разделяющая светотеневую зону, будет располагаться на стороне встречного движения транспортных средств. В нашей стране промышленностью выпускается оптический элемент ФГ140-200, который имеет асимметричный европейский луч. Фары с этим оптическим элементом удовлетворяют требованиям отечественного стандарта и международных норм по светораспределению. Оптический элемент фар с европейской системой светораспределения состоит из отражателя, имеющего угол охвата $2\varphi_{max} > 180°$, источника света с нитью накала дальнего и ближнего света и стеклянного рассеивателя, на поверхности которого опрессованы призмы и линзы.

Пучок ближнего света, обеспечивающий минимальные освещенности в зоне расположения глаз водителя встречного транспорта, создают соответствующим конструктивным исполнением источника света. Лампа накаливания имеет две нити: нить дальнего света, обычно размещенную в фокусе отражателя, и нить ближнего света, смещенную относительно фокуса вперед по оптической оси. При такой расфокусировке отраженный световой пучок разделяется на две части. Первая часть светового пучка, отраженная верхней полусферой, направлена вниз относительно оптической оси фары (рис. 192), а вторая часть светового потока, отраженная нижней полусферой отражателя — вверх относи-

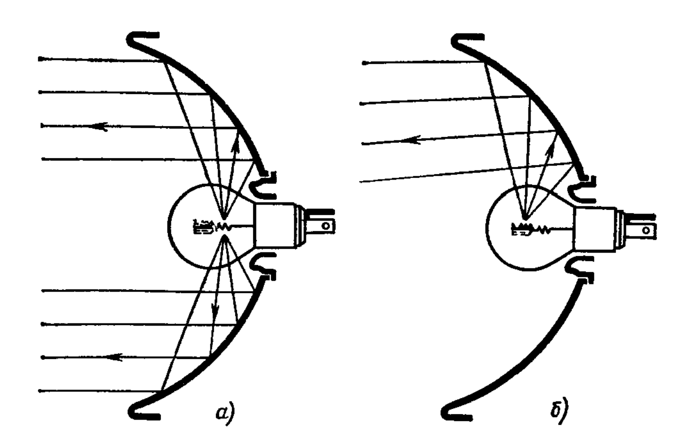


Рис. 192. Ход лучей в оптической системе фар с европейской системой светораспределения при рабсте нити накала:

а — дальнего света; *б* — ближнего света

тельно оптической оси фары, т. е. в сторону расположения глаз водителя встречного транспорта.

Для того чтобы предотвратить ослепление водителей встречных автомобилей этим потоком, в лампе под нитью ближнего света размещен непрозрачный экран, который исключает попадание световых лучей от нити накала на нижнюю полусферу отражателя. Вследствие наличия экрана у светового пятна четко различается светотеневая граница. При этом траектория движения глаз водителя встречного транспорта проходит в теневой зоне, освещенность в которой соответствует требованиям международных норм.

Максимальная освещенность в теневой зоне не должна превышать 440 кд, а в точке *B50L*, соответствующей положению глаз водителей встречного транспорта, находящегося на удалении 50 м, ограничена до 200 кд. В результате создания такого пучка ближнего света значительно уменьшается ослепленность водителей при встречном разъезде, однако и освещение проезжей части сокращается при этом до 50 м.

Для увеличения освещенности правой стороны проезжей части дороги и правой обочины (для правостороннего движения) экран в лампе делают несимметричным. Наклон левого бортика экрана под углом 15° (рис. 193) позволяет увеличить активную поверхность отражателя. Отраженный от этой поверхности отражателя световой пучок увеличивает освещенность проезжей части дороги и правой обочины на расстояние до 75 м.

При освещении ближним светом фары с европейской системой светораспределения вертикального экрана (рис. 194) разделительная линия светотеневой зоны должна иметь горизонтальный участок на левой стороне экрана (для правостороннего движения)

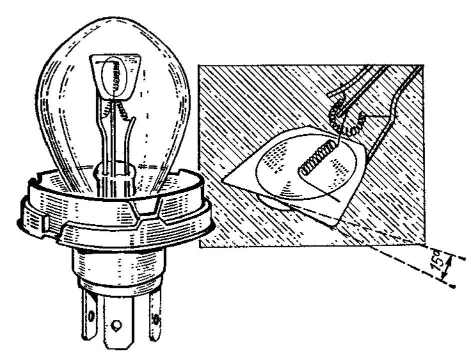


Рис. 193. Европейская лампа с цоколем P45t

и восходящий участок под углом 15° с правой стороны от центра вертикального экрана.

Лампа для фар с европейским светораспределением имеет тарелочный цоколь P45t, форма которого позволяет использовать лампу в отражателях с фокусными расстояниями 22 и 27 мм (рис. 195). Вследствие наличия тарелочного цоколя лампа вставляется непосредственно в горловину отражателя и фиксируется при помощи специального выступа на поверхности цоколя, для которого в отбортовке отражателя предусмотрена соответствующая прорезь.

Рассеиватель фары с европейской системой светораспределения изготовляют из бесцветного силикатного стекла с высоким коэффициентом пропускания. На внутренней поверхности рассеивателя опрессованы призмы и линзы, предназначенные для упорядочения светового пучка с целью удовлетворения требований международных норм по освещенности контрольных точек и зон измерительного экрана. Поскольку при включении ближнего света отражение происходит только от верхней полусферы отражателя, отраженный пучок проходит через верхнюю половину рассеивателя. Поэтому угол наклона призм в данной части рассеивателя и радиус кривизны линз рассчитывают для ближнего света. Нижнюю часть рассеивателя рассчитывают для условий работы фары при включенном дальнем свете.



Рис. 194. Форма светового пятна фары с европейской системой светораспределения при включении ближнего света

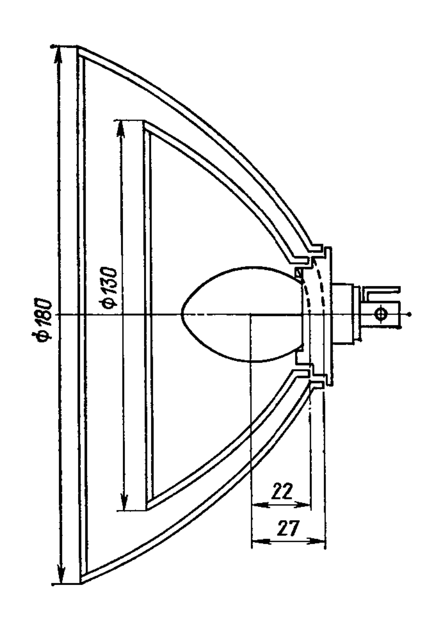
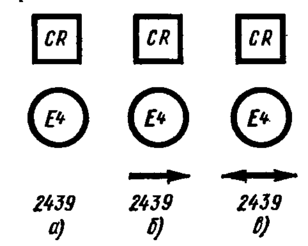


Рис. 195. Расположение лампы накаливания с цоколем P45t в отражателях с различным фокусным расстоянием

Рис. 196. Международный знак официального утверждения для фар с европейской системой светораспределения, предназначенных для эксплуатации при движении:

а — правостороннем; *б* — левостороннем; *в* — правостороннем и левостороннем



Международный знак официального утверждения ставят на рассеивателе или на корпусе фары (рис. 196). Буква Е обозначает, что данная фара удовлетворяет требованиям правил ЕЭК ООН. Цифра около буквы является отличительным номером страны, выдавшей официальное утверждение на данную фару (например, *Е*4, Венгрия).

Порядковые номера присваиваются странами в хронологическом порядке ратификации ими соглашения о принятии данных международных правил.

На фарах, предназначенных для эксплуатации в странах с левосторонним движением, под кругом нанесена горизонтальная стрелка, направленная вправо, если смотреть на фару спереди (рис. 196, *б*). Если фара путем соответствующего перемещения оптического элемента или лампы может быть использована и при левостороннем и при правостороннем движении, то под кругом ставят горизонтальную двустороннюю стрелку (рис. 196, *в*). Стрелку под кругом не наносят, если фара сконструирована только для использования на дорогах с правосторонним движением (рис. 196, *а*). Ниже стрелки дается порядковый номер официального утверждения фары.

Кроме этих обозначений над кругом имеется квадрат, в котором вписаны буквы *CR*. Буква *C* обозначает, что фара удовлетворяет предписаниям международных правил только в отношении ближнего света, буква *R* — в отношении дальнего света. Если фара предназначена для ее установки на транспортные средства со скоростью движения до 40 км/ч (сельскохозяйственные, лесопромышленные тракторы и другие виды транспорта), то вместо

квадрата и букв *CR* над кругом должен быть нанесен треугольник с вершиной, обращенной вниз, а в треугольник вписана буква Т.

Существуют единые требования и на электрические лампы накаливания.

Автомобильная лампа, имеющая официальный знак утверждения, должна удовлетворять требованиям по мощностным и световым параметрам, приведенным в табл. 15.

Таблица 15

Световые параметры автомобильной лампы

Показатель	Номинальное напряжение, В	
	6, 12	24
Потребляемая мощность нити, Вт:		
ближнего света	40	50
дальнего »	45	55
Световой поток нити, лм:		
ближнего света	400/550 *	
дальнего »	600	

* В числителе дано минимальное значение, в знаменателе — максимальное.

Фары с европейской системой светораспределения должны обеспечивать требуемую освещенность точек и зон измерительного экрана, установленного на расстоянии 25 м перед фарой, перпендикулярно к ее оптической оси. Измерительный экран (рис. 197) представляет собой проекцию перспективного участка дороги шириной 6 м. Для изображения этого участка дороги на экране наносят контрольные точки (*B* 50*L*, 75*R* и т. д.), зоны (*I*, *II*, *III*, *IV*) и линии, характеризующие основные элементы участка дороги. По измерительному экрану проверяют и регулируют фары.

Фары с американской системой распределения ближнего света допускаются к эксплуатации в ряде стран. В нашей стране фары с американской системой светораспределения выпускаются с металлостеклянным оптическим элементом, а также в виде ламп-фар.

Фары с американской системой светораспределения (рис. 198) имеют светотехническую систему, состоящую из параболического отражателя с углом охвата $2\varphi_{max} > 180°$, нити дальнего света (обычно дугообразной формы), расположенной в фокусе отражателя, и нити ближнего света (цилиндрической формы), расположенной поперек оптической оси и расфокусированной вверх и вправо (если смотреть на оптический элемент со стороны свето-

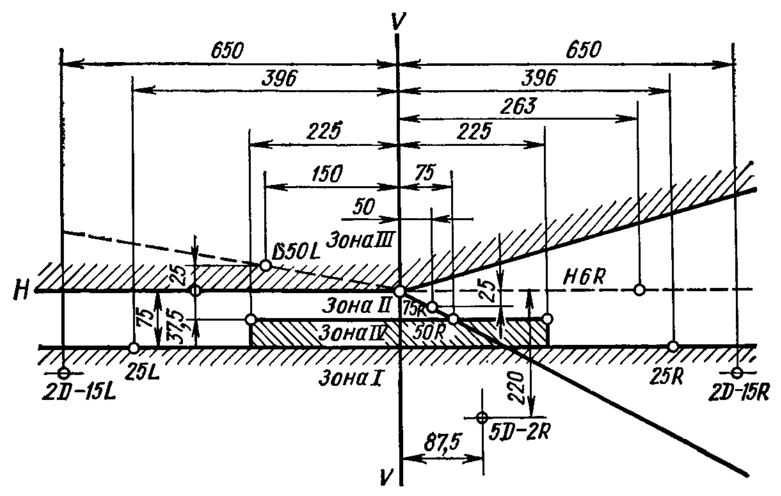


Рис. 197. Измерительный экран для ближнего света фар с европейской системой светораспределения (размеры в см)

вого отверстия), а также стеклянного рассеивателя, на внутренней поверхности которого опрессованы микроэлементы.

При подобной расфокусировке нити накала отраженный световой пучок разделяется на две основные части. Одна часть пучка, отраженная от поверхности в вершине отражателя (до фокальной плоскости), направлена вправо и вниз относительно оптической оси фары. Вторая часть пучка, отраженная поверхностью отражателя, расположенной от фокальной плоскости в сторону светового отверстия, направлена вверх и влево, т. е. про-

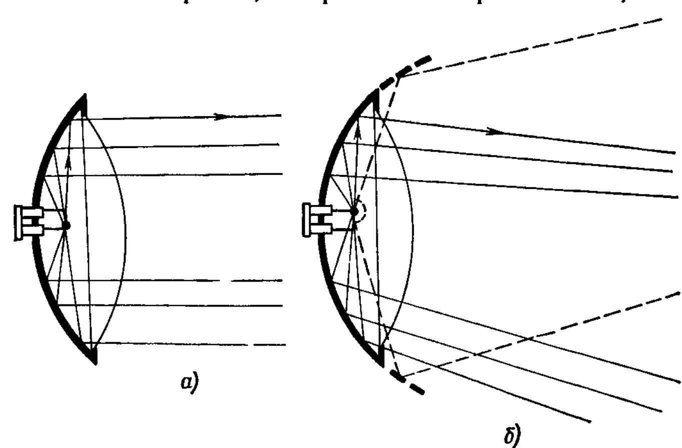


Рис. 198. Ход лучей в оптической системе фар с американской системой светораспределения при включении нити:

а — дальнего света; *б* — ближнего света

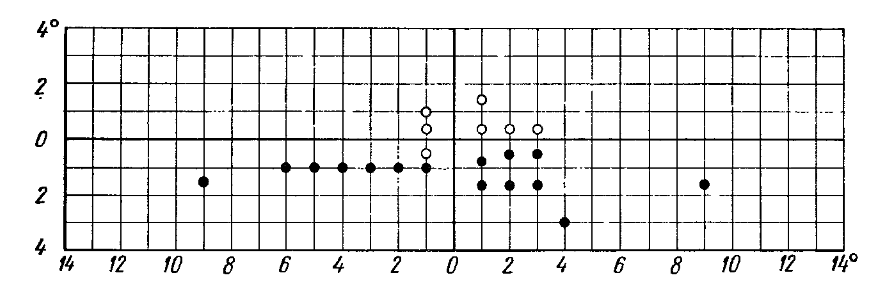


Рис. 199. Измерительный экран для фар ближнего света с американской системой светораспределения:

○ и ● — точки, в которых ограничены соответственно верхний и нижний пределы силы света

ходит в зону расположения глаз водителя встречного транспорта. Раздвоение светового пучка и увеличение угла рассеяния вызывает необходимость разработки сложной системы микроэлементов рассеивателя, которые предназначены для перераспределения второй части светового пучка в сторону проезжей части дороги.

В качестве источника света в фарах с американской системой светораспределения использованы лампы с фокусирующим цоколем 2Ф-Д42 или 2Ф-Д30. Цифра 2 указывает число контактов цоколя, цифры 42 и 30 — номинальный наружный диаметр фланца, буква Ф—фокусирующий цоколь, буква Д—дисковый.

Распределение светового потока и достижение необходимых освещенностей на определенных участках проезжей части, создаваемых фарами с американской системой светораспределения, проверяют с помощью измерительного экрана (рис. 199). Освещенность указанных точек измерительного экрана проверяемыми фарами определена ГОСТами и техническими условиями.

Анализируя распределение ближнего света фар с европейской и американской системами, необходимо отметить, что фары с европейской системой имеют более рациональное светораспределение. При освещении световым пучком фары американской системы европейского измерительного экрана сила света в зоне *III* у этой фары гораздо выше, чем у фары с европейской системой, и достигает 800 и 1500 кд соответственно для точки B50*L* и зоны *III*. Следовательно, и слепящее действие фар с американской системой гораздо выше, чем у фар с европейской системой.

При отсутствии встречных транспортных средств на дороге целесообразно освещать проезжую часть на большие расстояния, чем при ближнем свете. Для этого в лампе накаливания фары имеется нить накала, создающая пучок дальнего света, которую, как правило, располагают в фокусе оптической системы. Такое расположение позволяет получить световой пучок, распространяющийся в направлении, параллельном оптической оси фары, с меньшим углом рассеяния, чем при ближнем свете, и с большей ин-

тенсивностью. Для фар с европейской системой распределения света освещенность при дальнем свете регламентируется в контрольных точках измерительного экрана (рис. 200) в соответствии с требованиями Правил № 1 ЕЭК ООН и ГОСТ 3544—75. Для фар с американской системой распределения дальнего света освещенность определена международным стандартом SAE.

Конструктивные особенности фар. Современные системы освещения выполняются, как правило, в двух основных вариантах:

1) двухфарная система с круглыми или прямоугольными оптическими элементами;

2) четырехфарная система с круглыми (реже с квадратными) оптическими элементами.

Двухфарная система освещения с круглыми оптическими элементами состоит из двух фар. Наибольшее распространение получили фары ФГ122 с американской системой светораспределения и ФГ140 с европейской системой светораспределения. Вследствие значительной площади светового отверстия (диаметр 170 мм) двухфарная система позволяет создать хорошую освещенность дороги и препятствий на ней при ближнем и дальнем свете.

Конструктивно фары ФГ122 и ФГ140 состоят из идентичных узлов и деталей и отличаются только структурой светового пучка ближнего света, создаваемого оптическим элементом, особенности и специфика создания которого были рассмотрены выше. Поэтому целесообразно рассмотреть конструкцию фары ФГ140 (рис. 201), отметив конструктивные отличия фары ФГ122.

Корпус *4* фары изготовлен из листовой стали методом холодной штамповки. Поверхность корпуса покрыта несколькими слоями стойкого лака. В корпусе фары размещено установочное кольцо *5*, удерживаемое одной пружиной (у фары ФГ122 тремя пружинами).

В вертикальной плоскости сверху и в горизонтальной плоскости в установочном кольце сделаны пазы, в которые входят специальной канавкой два винта для регулировки угла наклона светового пучка. Регулировочные винты позволяют регулировать

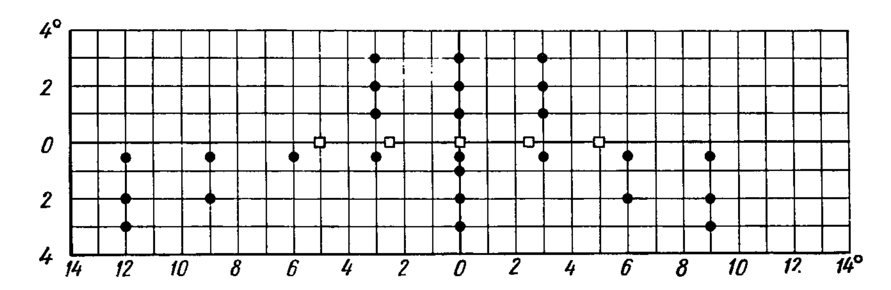


Рис. 200. Измерительный экран для фар дальнего света с американской и европейской системами светораспределения:

● и □ — контрольные точки для фар соответственно с американской и европейской системами светораспределения

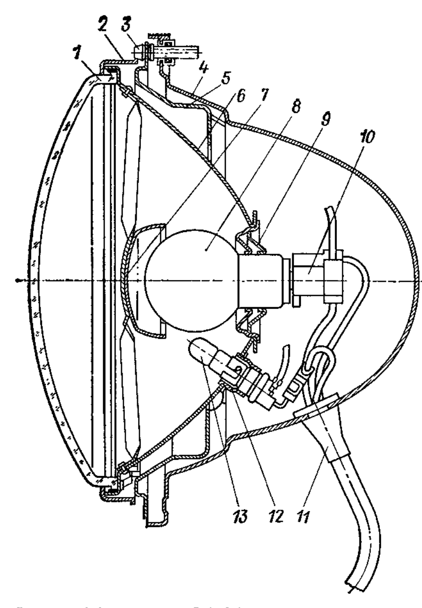


Рис. 201. Фара ФГ140 головного освещения с европейской системой светораспределения:

1 — рассеиватель; *2* — ободок крепления оптического элемента; *3* — регулировочный винт; *4* — корпус; *5* — установочное кольцо; *6* — отражатель; *7* — защитный экран; *8* — лампа накаливания; *9* — узел крепления лампы; *10* — штекерная колодка; *11* — уплотнитель; *12* — узел крепления лампы стояночного света; *13* — лампа стояночного света

угол наклона светового пучка как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскостях. Кроме этого, в установочном кольце имеются три несимметрично расположенных окна (выдавки у фары ФГ122), предназначенные для установки и фиксации в определенном положении оптического элемента. Оптический элемент прикреплен к установочному кольцу при помощи ободка и трех винтов.

Для получения европейской системы светораспределения в оптической элемент (рис. 202) устанавливается лампа с цоколем P45t. При включении ближнего света лампа потребляет мощность 40 Вт, а при включении дальнего света 45 Вт.

Оптический элемент фары с американским светораспределением снабжен источником света мощностью 40—50 Вт (для ближнего света) и 50—60 Вт (для дальнего света).

Четырехфарная система освещения с круглыми оптическими элементами состоит из четырех фар, имеющих световое отверстие диаметром 130 мм; фары расположены попарно по обеим сторонам передней части автомобиля. Наружные фары (рис. 203) предназначены для создания ближнего света, а также работают при включении дальнего света.

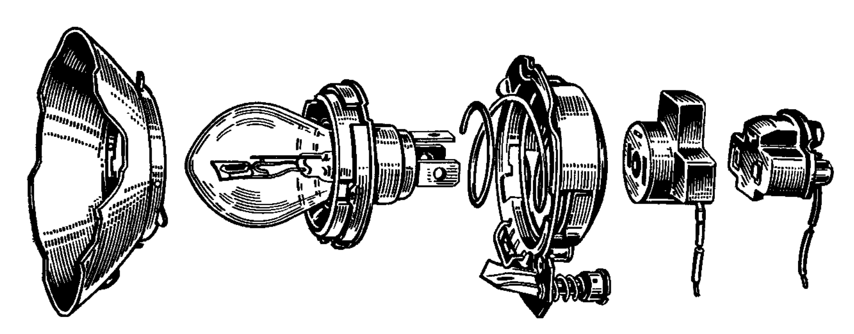


Рис. 202. Узел крепления лампы накаливания в оптическом элементе

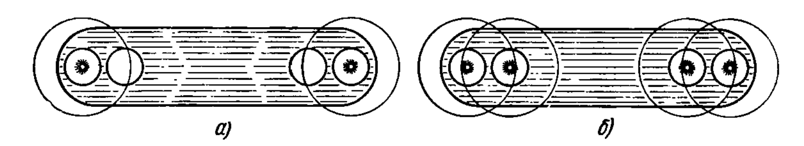


Рис. 203. Четырехфарная система освещения:
а — ближний свет; *б* — дальний свет

В оптический элемент наружной фары помещена европейская лампа накаливания с цоколем P45t при европейской системе светораспределения. При американской системе светораспределения для создания ближнего света в лампе-фаре нить накала ближнего света мощностью 50 Вт располагают в фокусе, а нить накала дальнего света мощностью 37,5 Вт смещают относительно фокуса отражателя назад по оптической оси.

Внутренние фары работают только в режиме дальнего света. При европейской системе светораспределения во внутренние фары помещают лампу с цоколем P45t мощностью 45 Вт. В лампах-фарах с американской системой светораспределения нить накала мощностью 37,5 Вт располагают в фокусе.

Следует отметить два основных преимущества четырехфарной системы перед двухфарной.

1. Большая освещенность дороги при включении дальнего света, что достигается увеличением суммарной площади светового отверстия всех четырех фар, а также повышением общей мощности источников света.

2. Более рациональное распределение по отдельным фарам ближнего и дальнего света, что позволяет производить расчет оптической системы применительно для соответствующего режима работы.

Однако четырехфарная система имеет более высокую стоимость, меньшую мощность потока фар ближнего света (из-за малого диаметра светового отверстия).

Система головного освещения с прямоугольными оптическими элементами, как правило, выполняется двухфарной (очень редко четырехфарной).

Основной особенностью прямоугольной фары (рис. 204) является параболоидный отражатель, который в верхней и нижней частях срезан горизонтальными плоскостями. Увеличенный размер светового отверстия в горизонтальной плоскости (до 280 мм) позволяет получить значительной величины силу света и освещать проезжую часть на большие расстояния, чем при двухфарной системе с круглыми оптическими элементами. В качестве источника света для прямоугольных оптических элементов используют обычные европейские лампы с цоколем P45t, мощностью нитей накала 45 + 40 Вт, создающие европейский асимметричный световой пучок при ближнем свете.

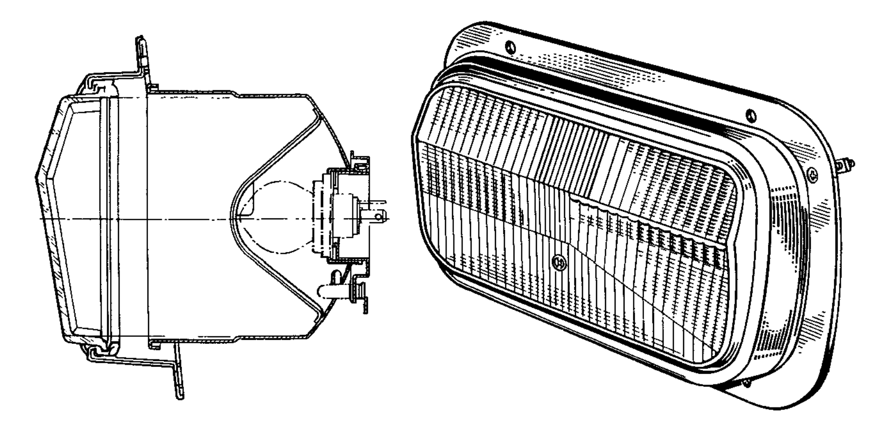


Рис. 204. Прямоугольная фара

Перспективным направлением в развитии осветительных приборов является создание фар с галогенными лампами. Отличительной чертой галогенной лампы является наличие в колбе лампы паров галогена, например йода. Основные преимущества галогенной лампы — высокие световая отдача и долговечность. Высокая световая отдача галогенной лампы (на 50—60% выше, чем у обычных ламп) объясняется значительным повышением температуры нити накала (до 3100 К) по сравнению с температурой нити накала обычной лампы (2500К). Такой режим работы не влияет на срок службы галогенной лампы, так как повышение давления газа в колбе лампы (до 0,8 МПа) замедляет процесс испарения вольфрама с нити накала.

Во время горения с нити накала частицы вольфрама осаждаются на внутренней поверхности колбы. При температуре колбы около 600° С йод соединяется с вольфрамом и образуется йодистый вольфрам, который неустойчив при высоких температурах. В результате конвекции молекулы йодистого вольфрама попадают в область расположения нити накала, температура в которой достигает 1400—1700° С. При такой температуре йодистый вольфрам распадается на йод и вольфрам. Вольфрам оседает на вольфрамовую нить, а частицы йода возвращаются вновь к стенкам колбы. Затем этот процесс повторяется сначала. В результате йодного цикла вольфрам, который в обычной лампе оседает на стенке колбы и затемняет ее, с колбы лампы возвращается на вольфрамовую нить, что позволяет увеличить ее долговечность почти в два раза и сохранить прозрачность стекла колбы на протяжении всего времени ее работы.

Галогенная лампа представляет собой малогабаритную трубку из кварцевого стекла, внутри которой по оси расположена вольфрамовая нить накала. Выводы выполнены из молибдена, в местах их запайки применена молибденовая фольга, так как коэффи-

циент расширения молибдена близок к коэффициенту расширения кварца. Колба лампы заполнена парами йода и инертного газа (аргон, ксекон, криптон и др.). Форма колбы не является обязательной, однако с 1967 г. в Правила № 8 и № 20 ЕЭК ООН включены предписания, касающиеся официального утверждения галогенных ламп H_1, H_2, H_3, H_4 (рис. 205) и фар с этими лампами.

Галогенные лампы рассчитаны на напряжение 6, 12 и 24 В. Мощность ламп напряжением 6 и 12 В 55 Вт, а ламп напряжением 24 В 80 Вт. Однонитевые галогенные лампы H_1, H_2, H_3 применяются в устанавливаемых на автомобилях дополнительных фарах (противотуманные и фары-прожекторы). Дополнительные фары имеют небольшие размеры, меньший угол охвата отражателя и характеризуются более высокими светотехническими показателями.

Зарубежными фирмами разработаны конструкции оптических элементов, в которых для создания пучка ближнего и дальнего света использованы однонитевые галогенные лампы.

Однонитевые галогенные лампы можно применять и в четырехфарной системе освещения. Поместив в оптических элементах наружных фар непрозрачные экраны под колбой лампы, можно создать асимметричный европейский пучок ближнего света. Пучок дальнего света создается при включении как внутренних фар (в которых также установлены однонитевые галогенные лампы), так и наружных.

Кроме фар, в которых используются только однонитевые галогенные лампы, некоторые фирмы разработали варианты, где применены как обычная европейская лампа с цоколем P45t, так и однонитевая галогенная лампа H_1.

Отличительной особенностью оптических элементов фар, в которых установлены галогенные лампы, является специфика микроструктуры элементов рассеивателя, а также своеобразная конструкция узла фиксации и крепления лампы в оптическом элементе. Галогенные лампы, выпускаемые в соответствии с требованиями международных норм, имеют специальные фланцы и элементы, которые не позволяют использовать их в обычных фарах головного освещения.

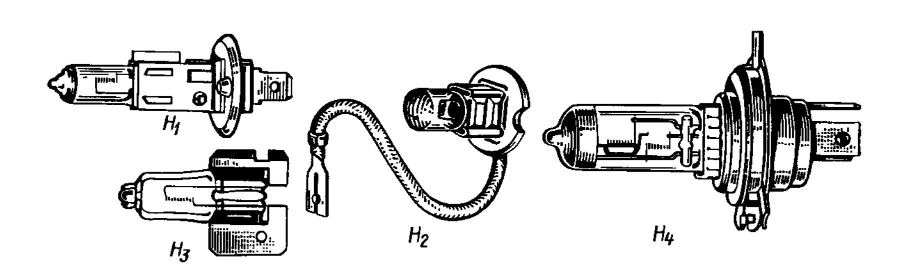


Рис. 205. Типы галогенных ламп, применяемых в автомобильных фарах

Тракторы, используемые для транспортных работ, и мотоциклы оборудованы фарами, которые выполняют те же функции, что и фары автомобиля. На тракторах вследствие малой скорости движения дальность освещения фарами проезжей части дороги меньше. Тракторные и мотоциклетные фары головного освещения мало отличаются от автомобильных. В эксплуатации широко применяют фары с американской и европейской системами светораспределения.

В качестве источников света используют как обычные лампы, так и галогенные. Кроме фар основного освещения на тракторах устанавливают фары рабочего освещения. Они предназначены для освещения прицепных орудий, агрегатов и рабочих площадок, где производится работа. Отличительной особенностью фары рабочего освещения является специально рассчитанный оптический элемент, который создает широкий световой пучок, равномерно освещающий большую площадь на небольших расстояниях.

Установка противотуманных фар на автомобилях позволяет повысить безопасность движения в условиях тумана, увеличить дальность видимости и почти вдвое повысить скорость движения. Для образования противотуманного пучка света необходимо выполнить следующие требования.

1. Для уменьшения рассеивающего действия туманной среды на световой поток путь световых лучей должен быть уменьшен по сравнению с длиной пути световых лучей от основных фар. С целью выполнения этого условия противотуманная фара должна быть расположена на автомобиле ниже основных фар.

2. Угол рассеяния светового потока в вертикальной плоскости должен быть уменьшен, а в горизонтальной — увеличен. Это достигают выполнением на поверхности рассеивателя микроэлементов.

3 Все световые лучи, исходящие от лампы накаливания в направлении, пересекающем линию зрения водителя, должны быть экранированы.

Конструктивно противотуманные фары выполняют с прямоугольным и круглым световым отверстием. На автомобиле их встраивают в кузов или крепят с помощью кронштейна к буферу. Промышленностью освоена и выпускается противотуманная фара ФГ120 с прямоугольным световым отверстием, состоящая из корпуса, оптического элемента и кронштейна для крепления.

Оптический элемент противотуманной фары имеет параболический отражатель, в фокусе которого расположена нить накала лампы, экран перед лампой, исключающий прямые лучи, и рассеиватель с опрессованными на внутренней поверхности цилиндрическими линзами, служащими для развертывания светового пучка в горизонтальной плоскости.

Противотуманная фара ФГ120 с широкоугольным противотуманным пучком по освещенности точек контрольно-измерительного экрана соответствует требованиям Правил № 19 ЕЭК ООН.

§ 35. *Светосигнальные фонари*

Для повышения безопасности движения все автомобили и транспортные средства должны быть оборудованы светосигнальными фонарями. Сигнальные фонари предназначены для передачи информации о намерениях водителя изменить направление движения, замедлить движение или остановить транспортное средство.

В соответствии с требованиями ГОСТ 10984—74, Правил ЕЭК ООН на автомобиле должны быть установлены следующие светосигнальные фонари: передние и задние габаритные фонари, передние и задние указатели поворота, сигнал торможения (стоп-сигнал), боковые указатели поворота, стояночного света, заднего хода, освещения номерного знака и световозвращатели.

Международная организация стандартизации рекомендует расширить количество светосигнальных фонарей путем установки на транспортные средства светового сигнала, указывающего на замедление движения автомобиля при изменении положения педали управления дроссельной заслонкой; сигнала, указывающего увеличение габарита автомобиля (например, при открывании дверей), фонарей с повышенной интенсивностью светового потока (применяемые в тумане и непогоду), светового сигнала, указывающего на внезапное возникновение аварийной ситуации.

Перечисленные выше световые сигналы должны обладать достаточно хорошей опознаваемостью, что возможно лишь при использовании различных цветностей сигналов. Наиболее широко используют в светосигнальной технике следующие цвета: красный, оранжевый, белый, реже синий и зеленый. Кроме цветового кодирования большое значение для своевременного различения и опознавания смыслового сигнала имеет дальность видимости сигнального света.

В соответствии с нормированными фотометрическими характеристиками предъявляются требования к силе света для определенных углов и к расположению оптической оси светового прибора. Максимальные значения силы света светового сигнала определяются значением яркости, исключающей ослепление водителей в темное время суток, а минимальные значения — пороговым значением освещенности на уровне зрачка глаза, создающей возможность различения сигнального света для дневных условий.

Существующие светосигнальные фонари в зависимости от светооптической системы подразделяют на две основные группы:

1) фонари со смешанной оптической системой;

2) фонари с линзовой оптической системой.

Светосигнальные фонари со смешанной оптической системой обеспечивают требуемое светораспределение путем рассеяния светового потока, отраженного отражателем, а также светового потока, падающего от источника света непосредственно на поверхность рассеивателя. Смешанная оптическая система отличается достаточно высокими значениями сил света в требуемых углах рассея-

ния. Поэтому такие фонари, как сигнал торможения, указатели поворотов и некоторые другие, к светораспределению которых предъявляются высокие требования, имеют смешанную светооптическую систему.

Светосигнальные фонари со смешанной оптической системой конструируют с одним и двумя уровнями освещения (двухрежимные фонари).

Двухрежимные фонари являются более удобными с точки зрения их восприятия, особенно в темное время суток. Поскольку указатели поворотов и стоп-сигнал имеют достаточно высокую силу света, то в темное время суток яркость их вызывает слепящее действие. Для уменьшения максимального значения силы света в темное время суток в цепи указателей поворотов и сигнала торможения автоматически включается добавочное сопротивление. Вследствие этого снижается подаваемое на лампы напряжение и соответственно световой поток. При этом обеспечивается второй режим работы светосигнального фонаря с заниженно допустимой по Правилам ЕЭК ООН силой света.

Светосигнальные фонари с линзовой оптической системой обеспечивают требуемое светораспределение путем рассеяния светового потока источника света микроэлементами рассеивателя. Линзовые системы применяют, как правило, во всех фонарях старых конструкций, а также в фонарях, где можно обеспечить требуемую силу света без использования отражающих поверхностей.

К светосигнальным фонарям с линзовой оптической системой относятся фонари габаритного света, боковых повторителей указателей поворотов, стояночного света, увеличения габаритов автомобиля и некоторые другие.

Конструктивно фонари с линзовой оптической системой состоят из корпуса, в котором установлена одно- или двухнитевая лампа накаливания, и рассеивателя. На внутренней поверхности рассеивателя расположены микроэлементы (линзы или призмы).

Требования к пространственному светораспределению определяются назначением каждого светосигнального фонаря.

Фонари габаритного света. Каждое транспортное средство должно иметь два передних фонаря габаритного света с бесцветными рассеивателями и два задних с красными рассеивателями. Габаритные фонари установлены на одинаковой высоте и симметрично относительно продольной плоскости симметрии автомобиля. Минимальные углы, необходимые для пространственного светораспределения фонарей габаритного света в вертикальной плоскости, равны 15° вверх и вниз от оптической оси. В горизонтальной плоскости углы видимости фонарей габаритного света равны 45° от оптической оси в сторону транспортного средства и 80° от оптической оси во внешнюю сторону (рис. 206, *а*).

Фонарям габаритного света, удовлетворяющим по светораспределению требованиям ЕЭК ООН, присваивается международный знак официального утверждения (рис. 206, *б*). Буквы А и *R* обозна-

чают соответственно передние и задние фонари габаритного света. Стрелка под кругом направлена в сторону, где предписанные фотометрические характеристики обеспечиваются в пределах угла 80° в горизонтальном направлении.

Цифра под стрелкой обозначает номер официального утверждения.

Сила излучаемого света на оси отсчета переднего фонаря габаритного света должна быть не ниже минимального (4 кд) и не выше максимального (60 кд) значений. Для заднего фонаря габаритного света эта величина соответственно равна 2 и 12 кд.

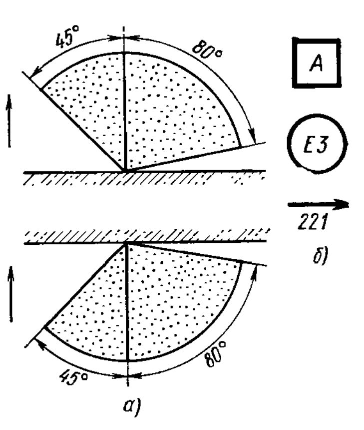


Рис. 206. Углы пространственного светораспределения фонарей габаритного света

Сигнал торможения. Каждый автомобиль должен иметь два сигнала торможения, которые устанавливают сзади автомобиля на одинаковой высоте и симметрично его продольной плоскости. Цвет рассеивателя фонаря сигнала торможения красный. Минимальные углы видимости фонаря сигнала торможения в вертикальной плоскости равны 15° вверх и вниз от оптической оси. В горизонтальной плоскости углы видимости соответствуют 45° в обе стороны от оптической оси. Основные элементы знака официального утверждения фонаря сигнала торможения такие же, как и для фонаря габаритного света. В квадрат, расположенный над кругом, ставят знаки S1 (однорежимный) или S2 (двухрежимный).

Сила излучаемого света на оси отсчета фонаря сигнала торможения должна соответствовать значениям, приведенным в табл. 16.

Таблица 16

Сила света (в кд) сигналов торможения

Сигнал торможения	Минимальное значение	Максимальное значение
С одним уровнем освещения	40	100
С двумя уровнями освещения:		
днем	130	520
ночью	30	80

В случае совмещения сигнала заднего габаритного света и сигнала торможения в одной секции в квадрате над кругом знака официального утверждения буквы, характеризующие принадлежность соответствующего сигнала, разделены дефисом.

Указатель поворотов. Указатель поворотов — это световой сигнал, включаемый водителем и указывающий на изменение направления движения транспортного средства. Каждый автомобиль должен иметь два передних и два задних указателя поворотов.

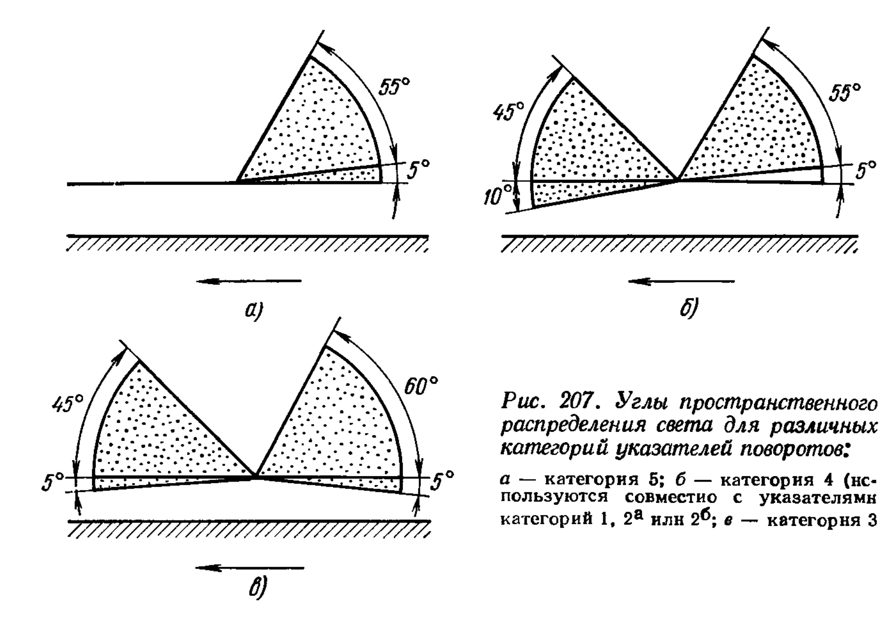


Рис. 207. Углы пространственного распределения света для различных категорий указателей поворотов:

а — категория 5; *б* — категория 4 (используются совместно с указателями категорий 1, $2^{а}$ или $2^{б}$; *в* — категория 3

Указатели поворотов необходимо устанавливать на одной высоте и симметрично по отношению продольной плоскости симметрии автомобиля. Рассеиватели для указателей поворотов имеют автожелтый цвет.

Все указатели поворотов разделены на шесть категорий и отличаются один от другого размерами минимальных углов, в которых регламентируется светораспределение, а также возможностью включения указателя поворотов в режим с одним или двумя уровнями освещения. Для всех шести категорий указателей поворотов минимальные вертикальные углы пространственного распределения светосилы равны 15° вверх и вниз от оптической оси фонаря.

Минимальные горизонтальные углы пространственного светораспределения для указателей поворота категории 1 (передние указатели поворота), категорий $2^{а}$ и $2^{б}$ (задние указатели поворота, последние с двумя уровнями освещенности) такие же, как и для габаритных фонарей (45 и 80°). Для категорий 3—5 эти углы указаны на рис. 207. Минимальные и максимальные значения силы света для перечисленных указателей поворота приведены в табл. 17.

Знак официального утверждения отличается тем, что под кругом указывается категория указателя поворота. Если на указателе поворотов над кругом нанесена стрелка, то данный указатель поворотов должен быть установлен таким образом, чтобы острие стрелки было направлено к наружной части транспортного средства (для категорий 1, $2^{а}$, $2^{б}$) или к передней (для категорий 3—5).

Таблица 17

Сила света (в кд) указателей поворота

Категория указателей поворотов	Минимальное значение	Максимальное значение
1 (передние указатели поворотов)	175	700
2а (задние указатели поворотов однорежимные)	50	200
2б (задние указатели поворотов двухрежимные):		
днем	175	700
ночью	40	120
3 (передние боковые указатели поворотов):		
в переднем направлении	175	700
в заднем »	50	200
4 (передние повторители указателей поворотов):		
в переднем направлении	175	700
в заднем »	0,3	200
5 (дополнительные боковые указатели поворотов)	0,3	200

Фонарь освещения номерного знака. Каждый автомобиль должен быть оборудован фонарем для освещения номерного знака. Этот фонарь размещают на автомобиле в месте установки номерного знака. При этом угол падения светового потока на освещаемую поверхность не должен превышать 82° и ни один луч от потока не должен быть направлен назад в сторону глаз водителя сзади следующего автомобиля.

Световозвращатели. Световозвращатели (катафоты) предназначены для обозначения габаритов транспортного средства в темное время суток путем отражения света, излучаемого источником, находящимся вне данного транспортного средства. Принцип работы световозвращателей основан на катадиоптрическом отражении светового пучка по направлению, близкому к тому, по которому пучок выходит из источника. Автомобильные световозвращатели представляют собой плоскопризменные оптические системы, отражающие падающий на них световой поток в пределах телесных углов и позволяющие его обнаружить на достаточно больших расстояниях (сотни метров).

Светотехнические характеристики световозвращателей определяются коэффициентом силы света. Коэффициент силы света есть частное от деления силы света, отраженного в рассматриваемом направлении, на освещенность светоотражательного устройства при определенных углах его освещения. Коэффициент силы света измеряют в миллисвечах, отнесенных к люксам.

Каждое транспортное средство должно быть оборудовано световозвращателями, установленными симметрично продольной плоскости автомобиля. Световозвращатели, размещенные спереди транспортного средства (прицепы, полуприцепы), имеют белый цвет, боковые — оранжевый, а задние — красный. Все световоз-

вращатели в зависимости от фотометрических характеристик и области применения подразделяют на три категории:

I — предназначены для автомобилей;

II — устанавливают на транспортных средствах с небольшой скоростью движения;

III — используют на прицепах.

Знак официального утверждения отличается тем, что сверху круга поставлен номер категории, к которой относится данный световозвращатель.

Автомобильные световозвращатели, как правило, устанавливают в рассеиватель заднего блока сигнализации.

Конструктивные особенности светосигнальных фонарей. Для автотракторной светотехники характерным является большое количество различных конструкций светосигнальных фонарей. Это объясняется тем, что комплект светосигнальных фонарей разрабатывается с учетом специфики внешних форм для соответствующей модели автомобиля. Унификация светосигнальных приборов, особенно для легковых автомобилей, не представляется возможной по эстетическим соображениям.

Для грузовых автомобилей разработаны два типа задних светосигнальных фонарей. Один тип фонарей предназначен для установки на автомобили средней и большой грузоподъемности, а другой — на автомобили малой грузоподъемности.

Блок сигнализации для грузовых автомобилей включает передний комбинированный фонарь ПФ130 и задний комбинированный фонарь ФП130.

Передний комбинированный фонарь состоит из корпуса, в котором выполнены две сигнальные секции, разделенные горизонтальной непрозрачной перегородкой. В каждой секции размещено основание с ламподержателем и лампой. Верхняя секция этого фонаря предназначена для размещения указателей поворота. Требуемое светораспределение этой секции создается смешанной светооптической системой, состоящей из параболического отражателя, лампы накаливания А12-21 и оранжевого рассеивателя, на поверхности которого имеются концентрические линзы. В нижней секции размещается габаритный фонарь, имеющий линзовую светооптическую систему. Концентрические линзы, выполненные на поверхности нижней части рассеивателя, распределяют световой поток от лампы А12-3 в требуемых углах рассеяния. Рассеиватель как верхней секции фонаря, так и нижней изготовляют из сополимера.

Задний комбинированный фонарь, унифицированный для грузовых автомобилей (рис. 208), состоит из пластмассового корпуса и пластмассового рассеивателя. В корпусе выполнены три сигнальные секции, разделенные непрозрачными перегородками. Крайняя наружная секция (относительно кузова) имеет смешанную оптическую систему и выполняет функцию сигнала указателя поворота. Средняя секция имеет линзовую оптическую систему и выполняет

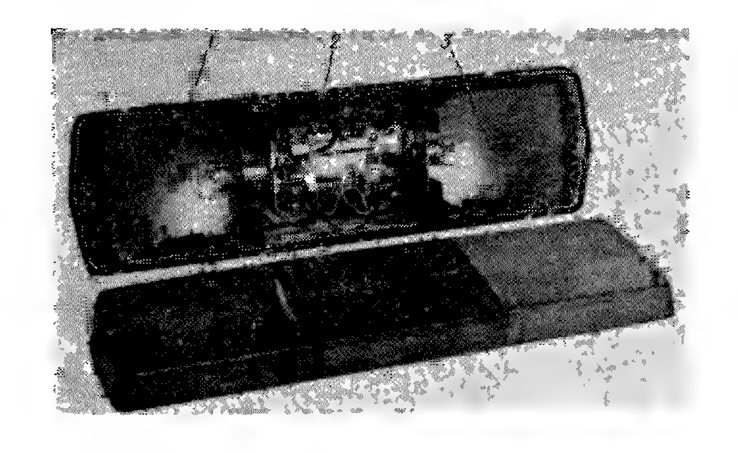


Рис. 208. Задний унифицированный комбинированный фонарь для грузовых автомобилей:

1—3 — секции соответственно фонарей сигнала торможения, габаритного света и освещения номерного знака указателя поворота

функцию габаритного огня, стояночного света и фонаря освещения номерного знака (у левого фонаря). Третья внутренняя секция имеет смешанную оптическую систему и предназначена для сигнала торможения.

Для создания необходимого светораспределения в секции указателя поворота сигнала торможения использованы лампы А12-21 или Р25-1, а в секции габаритного фонаря, фонарей стояночного света и освещения номерного знака лампы А12-3 или Р19-5.

Светосигнальные фонари автомобиля ГАЗ-24 «Волга» размещены в двух блоках сигнализации. Передний блок включает два отдельных фонаря: передний габаритный фонарь и указатель поворота, которые размещены в переднем крыле автомобиля. Корпус переднего габаритного фонаря (рис. 209) изготовлен из пластмассы, для улучшения светотехнических характеристик поверхность его металлизирована. На внутренней поверхности рассеивателя имеются микроэлементы, обеспечивающие светораспределение в требуемых пределах углов видимости.

Передний указатель поворота (рис. 210) состоит из корпуса, отлитого из цинкового сплава, внутри которого выполнена хромированная отражающая поверхность, ламподержателя с лампой А12-21 и оранжевого рассеивателя. На внутренней поверхности рассеивателя имеются микроэлементы для создания необходимого светораспределения.

Задний блок сигнализации включает трехсекционный фонарь, световозвращатель и фонарь освещения номерного знака. Трехсекционный фонарь (рис. 211) состоит из пластмассового металлизированного корпуса с выполненными отражающими парабо-



Рис. 209. Передний габаритный фонарь автомобиля ГАЗ-24 «Волга»:

1 — корпус; 2 — основание с ламподержателем; 3 — лампа; 4 — рассеиватель

лическими поверхностями, ламподержателей с лампами и рассеивателей для каждой секции. Верхняя секция предназначена для сигнала торможения и габаритного света. Необходимое светораспределение этих сигналов обеспечивается путем создания отраженного и прямого светового потока лампы А12-32+4 (нить 32 кд для сигнала торможения, нить 4 кд для габаритного света) и распределением этого потока концентрическими линзами, выполненными на поверхности рассеивателя.

Средняя секция служит для размещения указателя поворота. Требуемое светораспределение создается отраженным и прямым световым потоком лампы А12-21 и с помощью концентрических линз, выполненных на внутренней поверхности рассеивателя.

Нижняя секция выполняет функции фонаря заднего хода. Рассеиватель этой секции изготовлен из бесцветной пластмассы. На внутренней поверхности его имеются микроэлементы в виде призм, перераспределяющих световой поток лампы А12-21, установленной в секции.

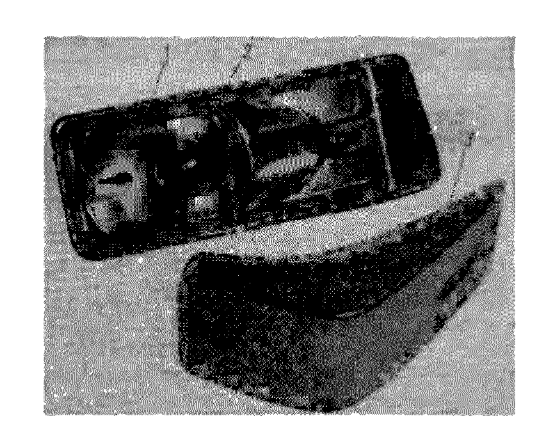
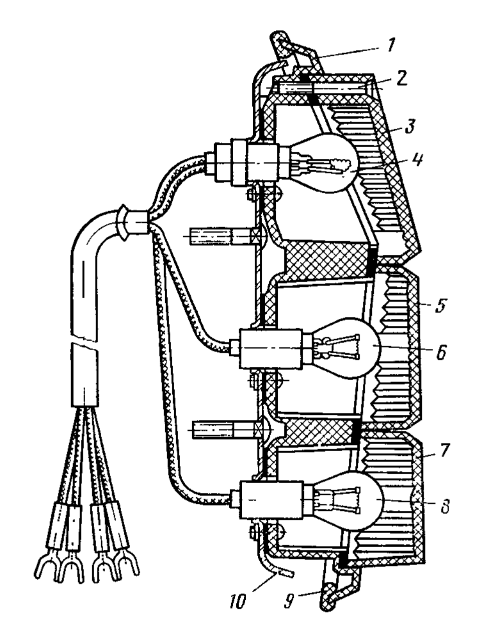


Рис. 210. Передний указатель поворота автомобиля ГАЗ-24 «Волга»:

1 — корпус; 2 — лампа; 3 — рассеиватель

Комплект светосигнальных фонарей автомобиля ВАЗ-2101 также состоит из двух блоков. Передний светосигнальный фонарь (рис. 212) имеет смешанную систему светораспределения. Корпус фонаря изготовлен из цинкового сплава, параболическая отражающая поверхность внутри него хромирована. В корпусе установлен ламподер-



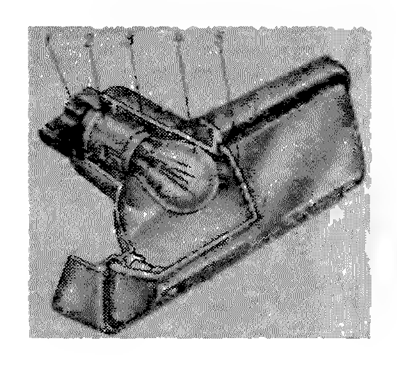


Рис. 212. Передний светосигнальный фонарь автомобиля ВАЗ-2101:

1 — штекерная колодка; 2 — ламподержатель; 3 — корпус; 4 — лампа; 5 — рассеиватель

Рис. 211. Трехсекционный фонарь автомобиля ГАЗ-24 «Волга»:

1 — корпус фонаря; 2 — винт крепления; 3 — рассеиватель сигнала торможения и габаритного света; 4 — лампа сигнала торможения и габаритного света; 5 — рассеиватель указателя поворота; 6 — лампа указателя поворота; 7 — рассеиватель фонаря заднего хода; 8 — лампа фонаря заднего хода; 9 — прокладка; 10 — основание с ламподержателями

жатель с лампой А12-21+6 или Р25-2. Рассеиватель изготовлен из бесцветной пластмассы, на внутренней поверхности его имеются плоскоцилиндрические линзы.

Задний блок сигнализации состоит из двухсекционного фонаря, световозвращателя, выполненного отдельно от этого фонаря, и фонаря освещения номерного знака. Двухсекционный фонарь (рис. 213) имеет корпус, изготовленный из цинкового сплава, ламподержатели и рассеиватели. В корпусе сделаны углубления, выполняющие роль отражателей. Внутренняя поверхность корпуса хромирована. Фонарь установлен на автомобиле горизонтально. Внутренняя секция фонаря с красным светофильтром предназначена для размещения лампы сигнала торможения и габаритного света (А12-21+6 или Р25-2). Наружная секция с оранжевым светофильтром предназначена для лампы сигнала указателя поворота. Необходимое светораспределение создается отраженным и прямым световым потоком лампы А12-21 и микроэлементами, имеющимися на внутренней поверхности рассеивателя.

Следует отметить, что после монтажа светотехническую аппаратуру испытывают. Испытания фар и светосигнальных фонарей заключаются в том, что определяются установочные размеры,

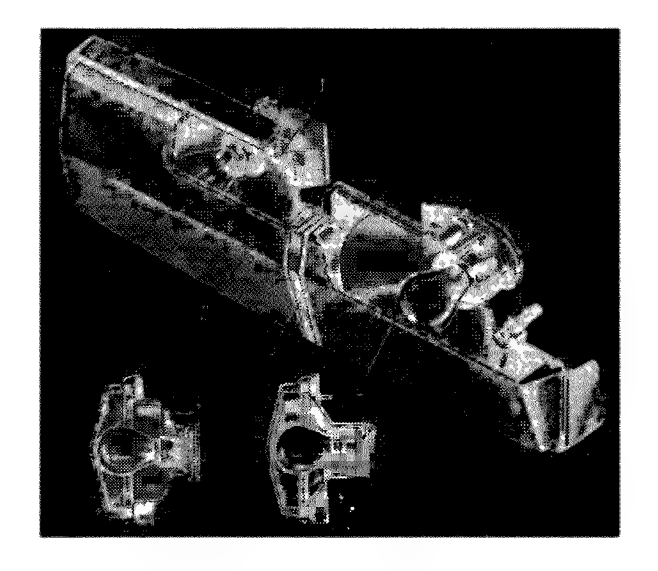


Рис. 213. Двухсекционный задний фонарь автомобиля ВАЗ-2101:

1 — корпус с ламподержателями; 2 — рассеиватель секции сигнала торможения и габаритного света; 3 — перегородка и крепежная планка рассеивателей; 4 — рассеиватель секции указателя поворота

размер активной поверхности, геометрическая видимость, физиологическая видимость, фотометрические характеристики.

Установочные размеры и фотометрические характеристики проверяют у всех приборов. Испытания проводят при полностью заряженной аккумуляторной батарее, днем при солнечной погоде, ночью — без тумана и дождя.

§ 36. Основы расчета автотракторных фар

Основу расчета автотракторных фар составляет оптический расчет, при котором определяют форму, размеры и геометрические параметры оптического устройства. Оптический расчет позволяет составить рабочий чертеж, необходимый для изготовления оптической системы фары.

Основными исходными данными для расчета оптической системы фары являются мощность, напряжение, форма и размеры источника света; габаритная яркость тела накала; геометрические размеры оптической системы (светового отверстия, фокусное расстояние, отверстия для установки лампы накаливания).

Обычно поверхность отражателя фары представляет собой параболоид вращения (рис. 214, *б*), получаемый от вращения вокруг своей оси параболы (рис. 214, *а*) $y^2 = 2px$, лежащей в плоскости XOY. Парабола является геометрическим местом точек M (x, y),

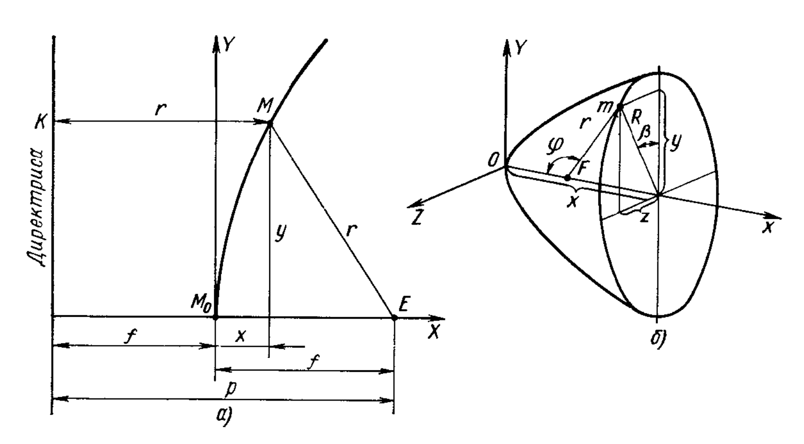


Рис. 214. Параметры параболы и параболоида:
а — параболы; *б* — параболоида

равноудаленных от данной точки (фокуса F) и от данной прямой: $MF = MK = x + (p/2)$. Отрезок $r = MF$ является фокальным радиусом-вектором точки параболы.

Прямая, параллельная оси параболы, называется диаметром. Диаметр делит пополам хорды, параллельные касательной, проведенной в конце диаметра. Если угловой коэффициент этих хорд равен K, то уравнение диаметра $y = K/p$. Касательная и нормаль к параболе являются биссектрисами углов между фокальным радиусом-вектором и диаметром, проходящим через точку касания. Поскольку нормаль к любой точке параболы является биссектрисой угла между фокальным радиусом-вектором и диаметром, проходящим через точку касания, то, следовательно, любой фокальный луч, упавший на некоторую точку отражателя, ориентируемую полярным углом φ, составит с нормалью угол $\alpha = \varphi/2$ и после отражения пойдет параллельно оптической оси.

Расчет координат профильной кривой отражателя проводят по уравнениям параболы в полярной системе координат r, φ, начало которой совмещено с фокусом параболоида, или в прямоугольной системе координат X, Y, Z, начало которой совмещено с вершиной параболы (рис. 214).

Координаты точки M в полярной системе координат на поверхности параболы определяются полярным углом φ и фокальным радиусом-вектором r

$$r = \frac{p}{1 + \cos\varphi} = \frac{2f}{1 + \cos\varphi} = \frac{f}{\cos^2 \frac{\varphi}{2}},$$

где p, f — соответственно фокальный параметр и фокусное расстояние параболы.

Для прямоугольных координат точку M можно определить по каноническому уравнению параболы

$$y^2 = 2px = 4fx.$$

Радиус-вектор параболы можно выразить через фокусное расстояние и координату x

$$r = f - x.$$

Координата x точки M может быть выражена через фокусное расстояние и угол φ

$$x = r \sin \varphi = \frac{f 2 \sin (\varphi/2) \cos (\varphi/2)}{\cos^2 (\varphi/2)} = 2f \operatorname{tg} (\varphi/2).$$

Методика расчета фар заключается в нахождении аналитических зависимостей, определяющих границы зон параболоидного отражателя, видимых светлыми из любой, произвольно расположенной в пространстве точки M. Светотехнические характеристики автомобильных фар принято задавать значениями освещенностей в определенных точках и в зонах вертикального экрана. Сила света оптического элемента по некоторому направлению α, β согласно принципу Максвелла равна произведению площади проекции светлой части поверхности элемента, видимой с данного направления, на яркость этой части поверхности

$$I_{\alpha\beta} = \int\limits_s B(\alpha, \beta)\, dS(\alpha, \beta) \cos \sigma (\alpha, \beta), \tag{66}$$

где $dS(\alpha, \beta)$ — элемент поверхности, излучающий пучок света по направлению α, β;

$\sigma(\alpha, \beta)$ — угол между нормалью к $dS(\alpha, \beta)$ и направлением α, β;

$B(\alpha, \beta)$ — яркость элемента dS по направлению α, β.

Так как величины угловых размеров и форма элементарных отображений значительно меняются для разных участков оптического элемента, его поверхность обычно делят на зоны. В пределах каждой зоны размеры и форму элементарных отображений можно считать одинаковыми. В этом случае вся светлая часть оптического элемента состоит из излучающих зон, и уравнение (66) можно представить в виде

$$I_{\alpha\beta} = \sum_{i=1}^{i=n} I_i (\alpha, \beta) = \sum_{i=1}^{i=n} B_i (\alpha, \beta) S_i (\alpha, \beta) \cos \sigma_i (\alpha, \beta), \tag{67}$$

где n — количество зон;

$B_i(\alpha, \beta)$ — яркость светлой части зоны на отражателе по направлению α, β;

$S_i(\alpha, \beta)$ — площадь поверхности части отражателя i-й зоны, видимой светлой по направлению α, β;

$\sigma_i(\alpha, \beta)$ — угол проекции светлой части $S_i(\alpha, \beta)$ зоны на плоскость, перпендикулярную направлению α, β.

Из уравнения (67) видно, что для определения силы света зоны отражателя необходимо рассчитать площадь светлой зоны отражателя S_φ, проекцию светлой зоны и яркость светлой зоны.

Принцип расчета оптических систем методом элементарных отображений основан на том, что на большом расстоянии от прибора точка поверхности оптического устройства излучает пучок света по данному направлению в том случае, если оно совпадает с осью ее пучка света. На малых же расстояниях от прибора условие свечения выполняется при пересечении точки наблюдения лучом светового пучка.

Для определения участка поверхности оптического устройства, излучающего пучок света по данному направлению, следует найти совокупность точек, посылающих луч по этому направлению.

Если световой пучок прибора представить в виде совокупности множества отдельных элементарных пучков, исходящих от точек поверхности оптического устройства, то эти точки могут характеризовать излучающую зону оптического устройства. Такие пучки лучей принято называть *элементарными отображениями*. Таким образом, элементарные отображения — пучок световых лучей, излучаемых в пространство точкой активной поверхности оптического элемента.

Для построения системы отображений поверхности отражателя и его светового пучка удобно воспользоваться плоскостью P, перпендикулярной оптической оси отражателя и удаленной от его вершины на расстояние L (рис. 215).

На плоскости P направление α, β изображается точкой M, которую удобно фиксировать системой координат α, H, β. При заданном L каждому значению α соответствует вполне определенное

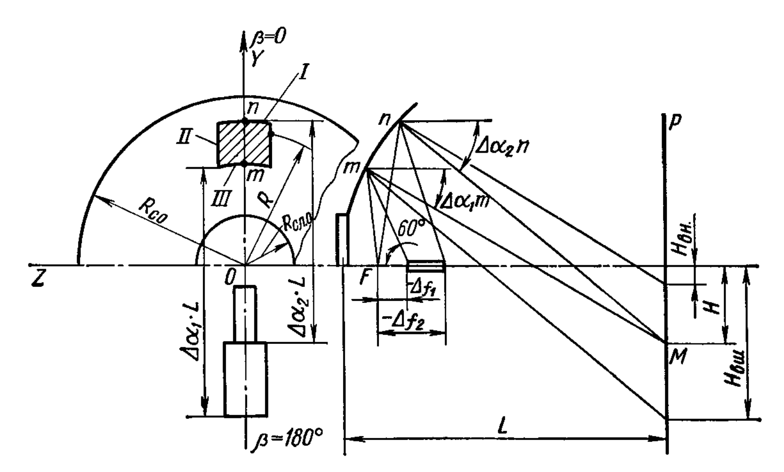


Рис. 215. Схема для расчета и построения светлых зон параболоидного отражателя:

$R_{сл.о}$ — радиус отверстия для лампы; *I* — внешняя граница; *II* — боковая граница; *III* — внутренняя граница

расстояние H от оптической оси отражателя до точки M, принадлежащей некоторой меридиональной плоскости β. При этом $H = L \operatorname{tg} \alpha$.

Светлая зона отражателя есть совокупность точек его поверхности, в которой следы элементарных отображений закрывают точку M на плоскости P. Контур светлой зоны есть геометрическое место точек поверхности отражателя, в которой следы элементарных отображений лишь касаются точки M своей контурной линией.

Для получения общих закономерностей формирования светлых зон при любом возможном расположении на оптической оси отражателя соосной с ним цилиндрической нити накала введем некоторые условные обозначения.

Положение нити накала на оптической оси будем характеризовать расстояниями Δf_1 до ближайшего к фокусу конца нити и Δf_2 до более удаленного от фокуса.

Световой луч, падающий на отражатель из какой-либо точки оптической оси, удаленной от фокуса на расстояние Δf в направлении от вершины параболоида, отражается в направлении к оптической оси. Величину отрезка Δf по аналогии с аберрацией будем считать условно отрицательной.

Отрезки Δf на оптической оси между фокусом и вершиной параболоида будем считать условно положительными. Таким образом, заданное положение на оптической оси отражателя соосной с ним прямой продольной спирали можно однозначно характеризовать величиной и знаком отрезков Δf_1 и Δf_2.

Положение, форма и размер светлой зоны отражателя зависят от положения тела накала по отношению к фокусу отражателя. В случае симметричной оптической системы можно ограничиться рассмотрением светлых зон отражателя при наблюдении его в одной из меридиональных плоскостей, проходящих под углом β. За начало отсчета примем верхнюю вертикальную полуплоскость. При отрицательных значениях Δf_1 и Δf_2 точку M, расположенную в полуплоскости ($\beta = 180°$), будет освещать зона отражателя, осью симметрии которой будет след на плоскости P меридиональной плоскости ($\beta = 0$). При положительных значениях Δf_1 и Δf_2 осью симметрии светлой зоны будет след меридиональной плоскости, в которой расположена освещаемая точка. При размещении в фокусе источника света для направления, в котором световое отверстие отражателя не будет светлым, точку M будут освещать две светлые зоны.

Условием излучения пучка света отражателя с заданными размером и формой светового отверстия в какую-либо точку M является расположение соответствующей светлой зоны, полностью или частично, в пределах светового отверстия отражателя.

В зависимости от величины и знака отрезков Δf_1 и Δf_2 след светового пучка отражателя на плоскости P будет представлять собой окружность с внешним радиусом $H_{вш}$ или кольцо с внутренним $H_{вн}$ и внешним $H_{вш}$ радиусами.

Значение внутреннего радиуса светлого кольца определяется по формуле

$$H_{\text{вн}} = \frac{|\Delta f_1|\, R_{\text{св. о}} L}{\left(f + \frac{R^2_{\text{св.о}}}{4f}\right)^2} \pm R_{\text{св. о}} \qquad (68)$$

где $R_{\text{св. о}}$ — радиус светового отверстия отражателя.

При расчете по формуле (68) целесообразно заполнять таблицу (см. форму 2).

ФОРМА 2

R, см	$\left(f + \frac{R^2}{4f}\right)$	$\left(f + \frac{R^2}{4f}\right)^2$	$\lvert\Delta f_1\rvert RL$	$H_{\text{вн}} = \frac{\lvert\Delta f_1\rvert RL}{\left(f + \frac{R^2}{4f}\right)} \pm R_{\text{св. о}}$	
1					
2					
3					
До $R = R_{\text{св. о}}$					

Радиус светлого круга или внешний радиус светлого кольца может быть определен по формуле

$$H_{\text{вш}} = \frac{|\Delta f_2|\, R_{\varphi=60^\circ} L}{\left(f + \frac{R^2_{\varphi=60^\circ}}{4f}\right)^2} \pm R_{\varphi=60^\circ}, \qquad (69)$$

где $R_{\varphi=60^\circ}$ — расстояние от оптической оси проекции на световое отверстие точек отражателя с угловой координатой $\varphi = 60^\circ$; $R_{\varphi=60^\circ} = 1{,}15f$.

При расчете по формуле (69) целесообразно заполнять таблицу (см. форму 3).

Таким образом, $H_{\text{вн}}$ и $H_{\text{вш}}$ определяют интервал значений H, для которых целесообразно определять светлые зоны.

Для построения контура светлых зон отражателя с целью сокращения расчетных операций полезно определить граничные точки m и n пересечения внутренней и внешней границ светлой зоны с осью Y. Заполнив формы 2 и 3 и подставляя в формулы (68) и (69) текущие значения R, можно получить зависимости $H_{\text{вн}} = f(R)$ и $H_{\text{вш}} = f(R)$, которые представлены на рис. 216 (кривые *1* и *2*).

R, см	$\left(f+\frac{R_{\varphi=60^\circ}}{4f}\right)$	$\left(f+\frac{R_{\varphi=60^\circ}}{4f}\right)^2$	$\mid\Delta f_2\mid R_{\varphi=60^\circ}L$	$\frac{\mid\Delta f_2\mid R_{\varphi=60^\circ}L}{\left(f+\frac{R^2_{\varphi=60^\circ}}{4f}\right)^2}\pm$ $\pm R_{\varphi=60^\circ}$
1				
2				
3				
До $R=R_{св.о}$				

Как видно из рис 216, для некоторых значений радиуса внутренней или внешней границей светлой зоны является окружность отверстия для лампы ($R_{сл.\,о}$) и радиус светового отверстия отражателя. Граничные точки m и n светлой зоны показаны на рис. 217.

Для сокращения расчетов целесообразно, используя результаты расчетов по формулам (68) и (69), определить граничные значения $R_{вн}$ и $R_{вш}$ светлых зон отражателя, соответствующих задаваемым значениям H. Полученные значения следует внести в таблицу (см. форму 4).

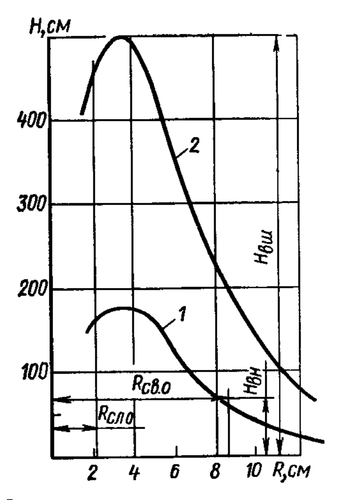


Рис. 216. Зависимости, определяющие внутреннюю и внешнюю границы светлых вон отражателя

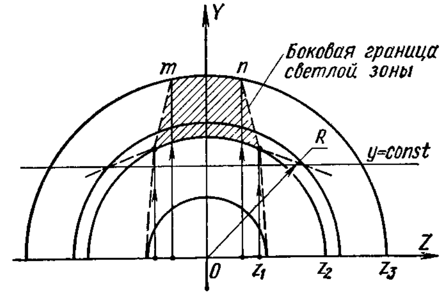


Рис. 217. Схема для определения граничных точек светлой воны отражателя

H, см	50	70	90	...	До H_{max}
$R_{ви}$, см					
$R_{вш}$, см					

Форму светлой зоны можно характеризовать внешней, внутренней и боковыми границами (см. рис. 215). Наличие внешней и внутренней границ, которым принадлежат точки m и n, обусловлено полным смещением тела накала из фокуса и длиной тела накала. Действительно, в точку M попадает как верхний луч элементарного отображения, создаваемого точкой m, так и нижний луч элементарного отображения, создаваемого точкой n.

Таким образом, из точки M будут видны светлыми все точки отрезка mn. Ширина светлой зоны обусловлена шириной нити накала, так как точка M своей верхней или нижней границей будет касаться также элементарных отображений, создаваемых точками отражателя в близлежащих меридиональных плоскостях. Боковые границы светлых зон представляют собой геометрическое место точек, расположенных на поверхности отражателя, элементарные отображения которых касаются точки M, расположенной на плоскости P.

Для расчета угловых размеров элементарных отображений в меридиональной α_m и сагиттальной α_s (перпендикулярной меридиональной) плоскостях можно пользоваться формулами

$$\alpha_m = \frac{l \sin \varphi}{2r}; \qquad (70)$$

$$\alpha_s = \frac{d}{2r}, \qquad (71)$$

где l — длина тела накала;
d — диаметр тела накала;
r — фокальный радиус-вектор точки отражателя;
φ — угловая координата точки отражателя.

С учетом допущений для нитевидного источника света при выполнении условий $|\Delta f_2 - \Delta f_1| > 5d$ и $r \geqslant 4(\Delta f_2 - \Delta f_1)$, где $\Delta f_2 - \Delta f_1 = l$ (т. е. длине нити накала), можно считать, что элементарное отображение имеет форму прямоугольной пирамиды, а его след на плоскости P форму прямоугольника.

Для вывода аналитических зависимостей, определяющих контур светлой зоны отражателя, искомые точки его поверхности удобно определять в системе координат X, Y, Z, начало которой сов-

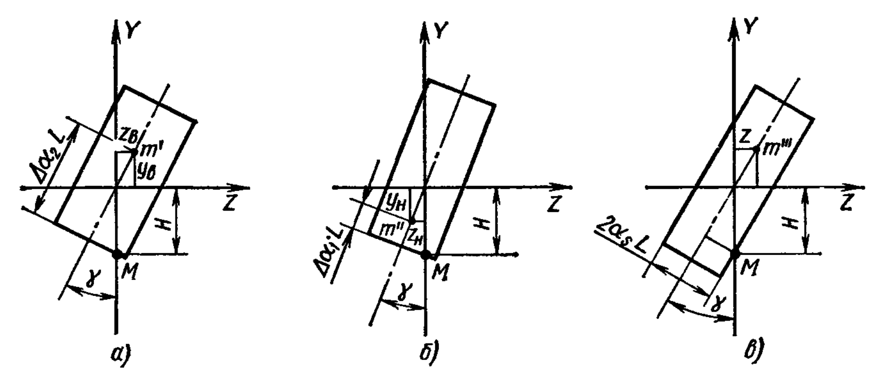


Рис. 218. Следы элементарного отображения, создаваемые точкой отражателя на плоскости P

мещено с вершиной параболоида, а ось X совпадает с направлением оптической оси.

При этом зависимости (70) и (71), определяющие угловые размеры элементарных отображений в полярной системе координат (см. рис. 214), должны быть выражены в системе X, Y, Z. Как следует из рис 214,

$$r = f + \frac{z^2 + y^2}{4f}; \quad \sin\varphi = \frac{\sqrt{z^2 + y^2}}{f + \frac{z^2 + y^2}{4f}}.$$

Тогда

$$\alpha_m = \frac{l\sqrt{z^2 + y^2}}{2\left(f + \frac{z^2 + y^2}{4f}\right)^2}; \tag{72}$$

$$\alpha_s = \frac{d}{2\left(f + \frac{z^2 + y^2}{4f}\right)}. \tag{73}$$

Как следует из рис. 218, *а* и *б*, условие, при котором след элементарного отображения, создаваемый какой-либо точкой отражателя, касается точки M на плоскости P своей верхней или нижней границей, может быть записано в виде

$$H\cos\gamma \pm \sqrt{z^2 + y^2} = \Delta\alpha L, \tag{74}$$

где H — расстояние точки M от оптической оси до линии пересечения вертикальной меридиональной плоскости с плоскостью P;

γ — угол наклона меридиональной плоскости, содержащей точку отражателя с координатами z и y;

z, y — координаты точки поверхности отражателя, соответствующей рассматриваемому следу элементарного отображения, например, $z_в$, $y_в$ для точки m';

$\Delta\alpha$ — угловой размер отрезка спирали Δf (при положительных значениях Δf в левой части равенства ставится знак плюс, при отрицательных — минус);

L — расстояние плоскости P от вершины параболоида.

Как видно из рис. 218, *а* и *б*,

$$\cos\gamma = \frac{y}{\sqrt{y^2 + z^2}}. \qquad (75)$$

Подставляя значения из выражений (72) и (75) в выражение (74), после преобразований получим

$$yH \pm (y^2 + z^2) = \frac{\Delta f L\,(y^2 + z^2)}{\left(f + \frac{y^2 + z^2}{4f}\right)^2}. \qquad (76)$$

Для определения условия, при котором след элементарного отображения, создаваемый какой-либо точкой отражателя, касается точки M своей боковой границей, рассмотрим рис. 218, *в*. Из этого рисунка видно, что

$$\frac{z}{y} = \frac{\alpha_s L}{H\cos\gamma}. \qquad (77)$$

Анализируя выражения (73) и (75), преобразуем выражение (77) для определения контура светлых зон отражателя

$$z\left(f + \frac{y^2 + z^2}{4f}\right)H = \frac{d}{2}L\sqrt{z^2 + y^2}. \qquad (78)$$

Таким образом, выражения (76) и (78) определяют контур светлых зон отражателя.

Используя ЭВМ, можно определить как координаты z и y точек контура светлых зон, так и площади светлых зон интегрированием по контурной линии, определяемой выражениями (76) и (78).

Если нет возможности использовать ЭВМ, уравнения (76) и (78) можно решить обычным способом, сделав некоторые графические построения.

Уравнения (76) и (78) могут быть решены относительно y и z. При этом контур светлой зоны относительно y определится выражением

$$y = \frac{R^2}{H}\left[\frac{|\Delta f|\,L}{\left(f + \frac{R^2}{4f}\right)^2} \pm 1\right]. \qquad (79)$$

Результаты расчета по формуле (79) целесообразно свести в таблицу (см. форму 5).

При расчете координаты y для каждого значения H следует задаваться несколькими значениями $R'_{вн}$ ($R'_{вш}$), незначительно отличающимися от $R_{вн}$ ($R_{вш}$), приведенных в таблице (см. форму 4).

ФОРМА 5

H, см	50	70	90	...	До $H = H_{max}$
$R_{вн}$, см					
$R'_{вн\ 1}$, см					
До $R_{вн\ n}$, см					
До $R'_{вн\ n}$, см					

Величину z, определяющую координаты боковой границы светлых зон отражателя, находят по формуле

$$z = \frac{RLd}{2H\left(f + \frac{R^2}{4f}\right)}. \tag{80}$$

Результаты расчета сводят в таблицу (см. форму 6).

ФОРМА 6

R, см	H, см				
	50	70	90	...	До H_{max}
1					
2					
3					
До $R = R_{св.\ о}$					

В выражениях (79) и (80) величина $R = \sqrt{z^2 + y^2}$ представляет собой радиус окружности в плоскости ZOY, которая проходит через соответствующую проекцию рассматриваемой точки отражателя.

Точки контура светлой зоны отражателя могут быть найдены графически следующим образом. Определив предварительно зависимости $y(R)$ и $z(R)$ по формулам (79) и (80), находят точку пересечения окружностей радиуса R с прямыми $y = \text{const}$ и $z = \text{const}$.

После построения светлых зон отражателя определяют площади светлых зон для рассматриваемого меридионального сечения.

Сила света параболического отражателя с цилиндрической нитью накала равной яркости определяется из выражения

$$I_\alpha = \rho B_{\text{тн}} S,$$

где $B_{\text{тн}}$ — средняя габаритная яркость нити накала;
I_α — сила света отражателя по направлению α;
S — площадь зоны отражателя, излучающей по направлению α или освещающей точку M, находящуюся на расстоянии H от оптической оси.

Освещенность точек, расположенных на линии пересечения какой-либо меридиональной плоскости с вертикальной плоскостью P на различных расстояниях H от оптической оси, рассчитывают по формуле

$$E_{\text{н}} = \frac{\rho B_{\text{тн}} S}{L^2}, \tag{81}$$

где $E_{\text{н}}$ — освещенность точки M на плоскости P, расположенной от оптической оси на расстоянии H.

Результаты расчета формулы, определяющей освещенность точек, сводят в таблицу (см. форму 7).

ФОРМА 7

H, см	50	70	90	...	До $H = H_{max}$
S, см					
E, лк					

Для рационального распределения отраженного светового потока и создания требуемой освещенности в контрольных точках и зонах измерительного экрана (что соответствует определенным зонам и точкам на проезжей части дороги) рассчитывают микроэлементы рассеивателя.

Угол наклона призм к поверхности рассеивателя

$$\operatorname{tg} A = \frac{\sin(\theta + \alpha_{\text{отр}}) - \sin(\theta + \alpha_0)}{\cos(\theta + \alpha_{\text{отр}}) - n\cos\delta},$$

где θ — угол между осевой линией и линией, проведенной из центра радиуса кривизны рассеивателя до центра

призмы; $\theta = \arcsin \frac{h}{R}$ (h — расстояние от вертикальной меридиональной плоскости до плоскости, проходящей через среднюю линию призмы; R — радиус кривизны несущего слоя рассеивателя);

$\alpha_{отр}$ — угол, характеризуемый максимальным значением освещенности от светового потока, проходящего через рассматриваемый микроэлемент;

α_0 — угол, на который необходимо сместить кривую освещенности для рассматриваемого меридионального сечения, чтобы получить требуемую суммарную освещенность для данной точки;

$$\delta = \arcsin \frac{\sin(\theta + \alpha_0)}{n};$$

n — показатель преломления стекла, $n = 1{,}5$.

Глава VIII. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ И ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ

§ 37. Электрические сети автомобиля и трактора

Условное графическое изображение электрической сети на чертеже называется схемой.

Схема должна быть наглядной, легко читаемой.

Обычно выполняют два типа схем электрооборудования автомобилей и тракторов; принципиальную и схему подключения.

Принципиальная схема отображает электрические соединения элементов электрооборудования автомобиля или трактора без учета фактического расположения и разъемов. На схеме подключения электрооборудования размещение изделий электрооборудования соответствует фактическому расположению их на машине. На этой схеме изображают пучки проводов с разъемами.

При выполнении принципиальной схемы и схемы подключения (монтажной) электрооборудования применяют условные графические обозначения изделий.

Передача электрической энергии на автомобиле и тракторе от источников к приемникам электрической энергии осуществляется по электрической сети.

Основными ее элементами являются соединительные провода, разъемы, коммутационная аппаратура и предохранители.

Электрические цепи автомобилей и тракторов (рис. 219) можно разделить на магистральные (толстые линии), по которым протекает ток к нескольким потребителям, и цепи разветвлений (тонкие линии) для подключения однородных потребителей (осветительные, контрольно-измерительные приборы и др.).

Основы расчета цепи постоянного тока. Расчет сечений проводов магистральных цепей и цепей разветвлений производят по допустимым токовым нагрузкам, падениям напряжений в цепи и механической прочности провода.

По допустимой нагрузке (из условия нагрева) рассчитывают магистральные цепи и некоторые цепи разветвлений (звукового сигнала, стеклоочистителей, дополнительного электрооборудования). По допустимому падению напряжений рассчитывают цепи наружных осветительных приборов, а по допустимой механической прочности — цепи с силой тока до 1 А.

Расчет сечений провода из условия нагрева сводится к определению допустимого тока, исходя из допустимой температуры,

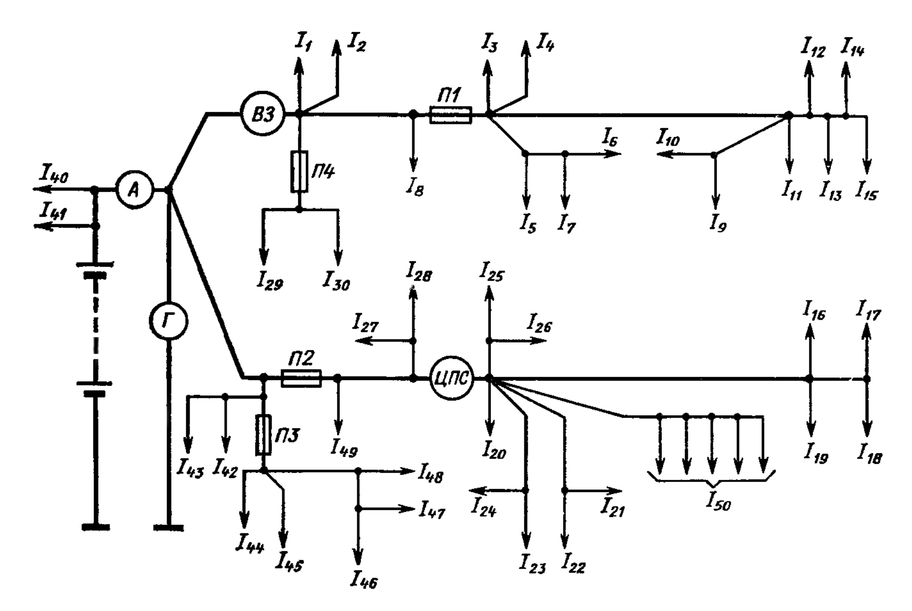


Рис. 219. Схема токораспределения автомобиля ГАЗ-24 «Волга»:
ЦПС — центральный переключатель света; *ВЗ* — выключатель зажигания

которая ограничивается теплостойкостью изоляции. При этом необходимо учитывать температуру окружающей среды, режим работы, условия охлаждения и другие факторы.

Поскольку автотракторные провода, как правило, объединены в пучки с общей оплеткой, то аналитически учесть факторы, влияющие на допустимый ток, практически невозможно. Поэтому допустимые токи для проводов определяют по нормам, установленным опытным путем. При разработке норм допустимых токов учитывают вид изоляции. Так, например, нормы допустимых токов для проводов с поливинилхлоридной изоляцией (ПГВА) приведены в табл. 18.

Таблица 18

Допустимая сила тока $I_{доп}$ (в А) для проводов

Сечение провода по меди, мм²	Провод		Сечение провода по меди, мм	Провод	
	отдельный	в пучках		отдельный	в пучках
0,5	8	7	2,5	22	18
0,75	10	9	4	29	24
1,0	13	11	6	37	31
1,5	16	14	10	54	44

При расчете допустимых токов для кратковременного (повторно-кратковременного) режима принимают, что

$$I \leqslant p_i I_{доп},$$

где p_i — коэффициент токовой перегрузки.

Коэффициент токовой перегрузки кратковременного и повторно-кратковременного режима представляет собой отношение тока кратковременного (повторно-кратковременного) режима к тому току длительного режима, который создает эквивалентный режим.

Для кратковременного режима

$$p_i = \sqrt{\frac{1}{1 - e^{-t_p/T}}}, \tag{82}$$

где t_p — время работы провода.

Если t_p значительно меньше постоянной времени нагрева T, то уравнение (82) имеет вид

$$p_i = \sqrt{T/t_p}.$$

Постоянную времени нагрева провода вычисляют по формуле

$$T = \frac{m_1 c_1 - m_2 c_2}{\alpha F},$$

где m_1, m_2 — соответственно масса жилы и изоляции провода, кг;
c_1, c_2 — соответственно удельная теплоемкость жилы и изоляции проводов, Дж/(кг·К);
F — поверхность охлаждения провода, м²;
α — коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·К).

Для повторно-кратковременного режима

$$p_i = \sqrt{\frac{1 - e^{-(t_p + t_0)/T}}{1 - e^{-t_p/T}}}, \tag{83}$$

где t_0 — время охлаждения провода.

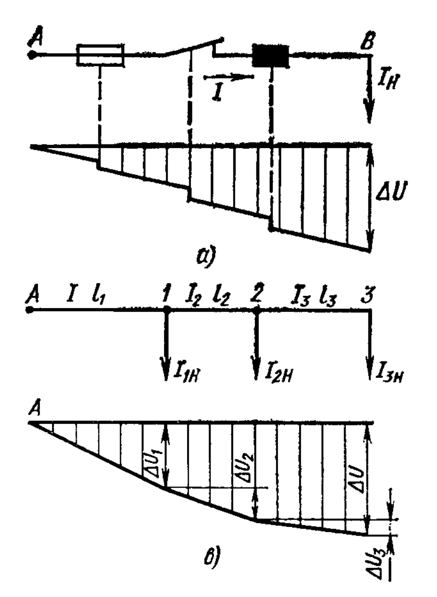
При расчете сети на допустимое напряжение определяют сечение проводов S при заданных токах нагрузки $I_н$, длине участков, при которых потеря напряжения сети ΔU не превышает допустимого значения $\Delta U_{доп}$.

Сети автотракторного электрооборудования относятся к разомкнутым. При расчете на потерю напряжения они могут быть сведены к нескольким типам (рис. 220).

Для цепи с сосредоточенной нагрузкой (рис. 220, *а*) потеря напряжения складывается из падения напряжения в проводе $\Delta U_{пр}$ и падения напряжения в переходных контактах $\Delta U_к$, т. е.

$$\Delta U = \Delta U_{пр} + \Delta U_к = I_н \frac{\rho l}{S} + I_н \sum R_к \leqslant \Delta U_{доп}, \tag{84}$$

где $I_н$ — ток нагрузки;
ρ — удельное сопротивление материала провода;
l и S — длина и сечение провода на участке;
$R_к$ — переходное сопротивление контактов.



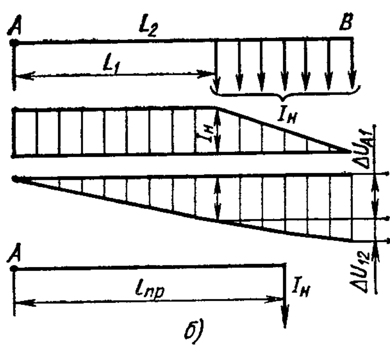


Рис. 220. Сети автотракторного электрооборудования:

а — простая разомкнутая с одной сосредоточенной нагрузкой; *б* — простая разомкнутая с равномерно распределенной нагрузкой; *в* — разомкнутая с несколькими сосредоточенными нагрузками

Из уравнения (84) сечение провода

$$S = \frac{\rho I_н l}{(\Delta U_{доп} - I_н \Sigma R_к)}.$$

Если пренебречь потерей напряжения в контактах или в случае их отсутствия, получим

$$S = \frac{\rho I_н l}{\Delta U_{доп}}.$$

Из этого уравнения можно найти так называемую критическую длину провода, при которой потеря напряжения будет меньше допустимой при выбранном сечении провода $S_{табл}$ с допустимым током по нагреву

$$l_{кр} = \frac{S_{табл}}{\rho I_{доп}} \Delta U_{доп}.$$

Из данного уравнения следует, что если фактическая длина линии не превышает критической для заданного $\Delta U_{доп}$, то потерю напряжения в линии можно не определять.

Для цепи с равномерно распределенной нагрузкой (рис. 220, *б*) потеря напряжения в линии складывается из двух составляющих

$$\Delta U = \Delta U_{A1} + U_{12}. \qquad (85)$$

Если сечение линии $S = \text{const}$, то потеря напряжения на участке L_1

$$\Delta U_{A1} = I_н \frac{\rho L_1}{S}.$$

Потеря напряжения на участке $L_2 - L_1$ с распределенной нагрузкой

$$\Delta U_{12} = \frac{I_н (L_2 - L_1) \rho}{2S}.$$

Подставляя полученные значения ΔU_{A1} и ΔU_{12} в уравнение (85), находим сечение провода

$$S = \frac{\rho I_н l_{пр}}{\Delta U_{доп}},$$

где $l_{пр}$ — приведенная длина линии, $l_{пр} = L_1 + \frac{L_2 - L_1}{2}$.

Итак, линия с равномерно распределенной нагрузкой эквивалентна линии с сосредоточенной нагрузкой $I_н$, приложенной к середине равномерно нагруженного участка.

В разомкнутой сети с несколькими сосредоточенными нагрузками (рис. 220, *в*) потеря напряжения слагается из суммы потерь напряжений на участках

$$\Delta U = \sum_{i=1}^{n} \Delta U_i = \sum_{i=1}^{n} I_i R_i$$

или

$$\Delta U = \frac{\rho}{S} \sum_{i=1}^{n} I_i l_i.$$

Обозначим $\sum_{i=1}^{n} I_i l_i = M$ (где M — суммарный момент токов). Тогда искомое сечение сети

$$S = \rho M / \Delta U_{доп}. \qquad (86)$$

С учетом падения напряжения на контактах формулу (86) можно представить следующим образом:

$$S = K_к \rho M / \Delta U_{доп},$$

где $K_к$ — коэффициент, учитывающий падение напряжения в контактах переключателей и колодках; $K_к = 1{,}25 \div 1{,}3$.

Следует отметить, что падение напряжения на контактах в процессе работы колеблется в широких пределах. Это объясняется конструктивными особенностями и спецификой условий работы.

Контакты являются очень важным узлом, и от их работы существенно зависит надежная работа системы электрооборудования. Плохие контактные соединения являются постоянными источниками неисправностей.

При анализе работы контактов необходимо учитывать, что поверхность твердого тела никогда не бывает идеально гладкой. Поэтому при замыкании контактов вначале они соприкасаются только в одной — трех точках. Под действием давления поверхности деформируются, сближаются, и в соприкосновение входят

новые точки. Деформация контактов определяется свойствами материала контактов. Увеличение площади соприкосновения зависит от давления на контактах.

Учитывая перечисленные факторы, приближенно переходное сопротивление контактов рассчитывают по формуле

$$R_к = \rho \sqrt{\pi\sigma}/(2\sqrt{P}),$$

где σ — предел прочности на смятие;

P — давление на контактах.

Необходимо подчеркнуть, что переходное сопротивление контакта зависит только от давления и практически не зависит от площади соприкосновения контактов.

Переходное сопротивление контактов зависит также от их температуры и степени окисления поверхности контактов. Зависимость переходного сопротивления контактов от температуры выражается формулой

$$R_к = R_{к0}(1 + \alpha_к \Delta t),$$

где $R_{к0}$ — переходное сопротивление контактов при начальной температуре;

$\alpha_к$ — температурный коэффициент сопротивления, $\alpha_к = 2/3\alpha$ (α — температурный коэффициент сопротивления материала контакта);

Δt — изменение температуры относительно начальной.

Переходное сопротивление контактов является важнейшим параметром, определяющим их нагревание.

Соприкасающиеся поверхности контактов покрываются окисной пленкой. При наличии такой пленки незначительно увеличивается сопротивление $R_к$. При повышении давления на контактах пленка легко разрушается.

Затем с течением времени вновь образуется пленка окислов металла. Особенно быстро растет пленка окиси на медных контактах. Удельное сопротивление пленки окиси у разных металлов различно.

К контактам предъявляются многочисленные и разнообразные требования. Материал, из которого изготовляют контакты, должен иметь высокую электро- и теплопроводность, хорошую механическую прочность, большое сопротивление электрическому износу.

Износ контактов можно определять двумя способами: по изменению формы и по уменьшению массы контактов. Износ контактов пропорционален числу их срабатывания и току и обратно пропорционален ширине контакта.

Конструкция элементов сети. В автотракторном электрооборудования применяют неподвижные, скользящие и размыкающие контакты.

Неподвижные (неразмыкаемые) контакты выполняют в виде: плоских шин, стянутых болтами; соединения двух цилиндрических проводников, расположенных в одну линию; соединения круглого

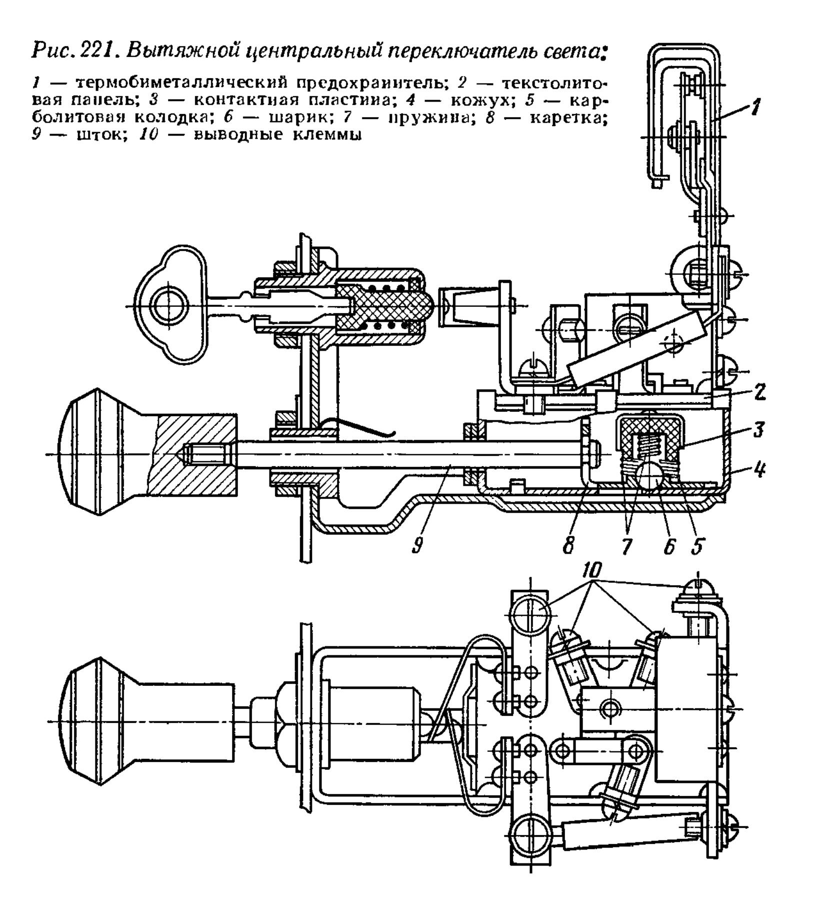


Рис. 221. Вытяжной центральный переключатель света:

1 — термобиметаллический предохранитель; *2* — текстолитовая панель; *3* — контактная пластина; *4* — кожух; *5* — карболитовая колодка; *6* — шарик; *7* — пружина; *8* — каретка; *9* — шток; *10* — выводные клеммы

проводника с плоским в одну линию и во взаимно перпендикулярном положении и т. д. В последнее время начали применять новые способы получения неразмыкаемых контактов при помощи заклепок, холодной и горячей сварки и т. д.

Конструкцию скользящих контактов можно рассмотреть на примере центрального переключателя света (рис. 221).

В переключателе имеется семь клемм *10* с винтами для крепления плоских наконечников проводов, которые закреплены на текстолитовой панели *2*. В кожухе *4* размещена каретка *8* со штоком *9*. Клеммы *10* соединены с контактами, установленными на внутренней поверхности текстолитовой панели. Эти контакты замыкаются с помощью пластины *3*. Давление на контактах создается спиральными пружинами *7*. Шток центрального переключателя может находиться в трех положениях, фиксируемых шариком *6*. В каждом положении пластиной *3* замыкаются определенные контакты. Когда переключатель находится в I положении — все выключено; во II положении — включены передний фонарь габаритного света

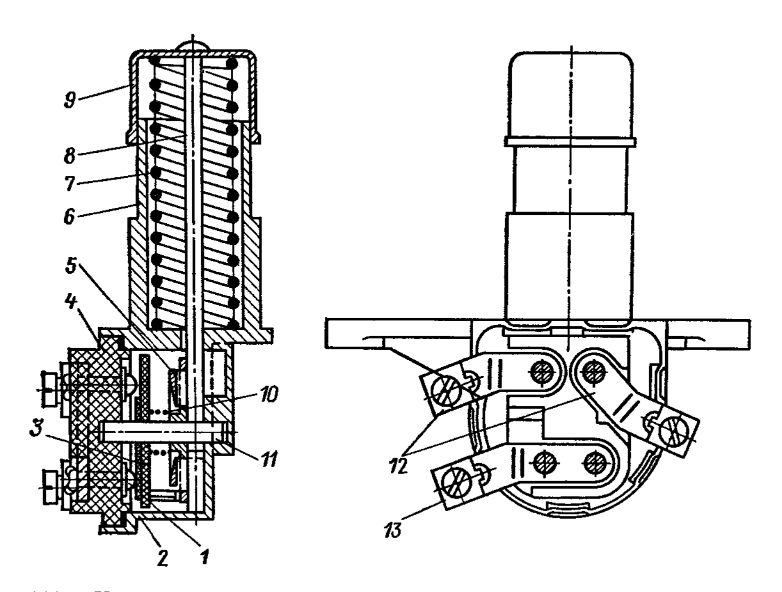


Рис. 222. Ножной переключатель:

1 — контакты; *2* — изоляционный диск; *3* — контактор; *4* — основание; *5* — звездочка; *6* — корпус; *7*, *10* — пружины; *8* — плунжер; *9* — колпачок; *11* — ось; *12* — боковые клеммы; *13* — клемма источника тока

и задние фонари; в III положении — включены фары и задние фонари.

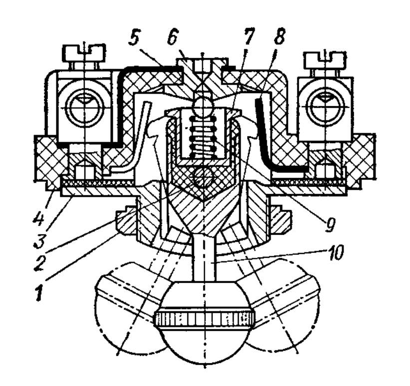
На корпусе переключателя иногда устанавливают термобиметаллический предохранитель *1*.

Другим примером применения скользящих контактов может служить ножной переключатель света.

Ножной переключатель (рис. 222) состоит из корпуса *6*, в котором установлен плунжер *8* с колпачком *9* и пружиной *7*, карболитового основания *4* с двумя наружными клеммами *12*, *13* и тремя внутренними полусферическими неподвижными контактами *1*. На оси *11* установлены звездочка *5* и контактор *3* с диском *2*. Необходимое давление на контактах создается пружиной *10*.

Клемма *13* переключателя соединена с источником питания, а клеммы *12* соответственно с нитью ближнего и нитью дальнего света. При нажатии на колпачок корпуса ногой плунжер поворачивает на оси звездочку, которая перемещает контактор. В результате замыкаются контакты, соединенные с источником питания и нитью ближнего света. После снятия усилия с колпачка плунжер возвращается в исходное положение под действием пружины *7*. При повторном нажатии на колпачок контактор замыкает контакты, соединеиные с источником питания и нитью дальнего света.

Конструкция размыкаемых контактов в значительной степени зависит от привода. По типу привода их можно разделить на пере-



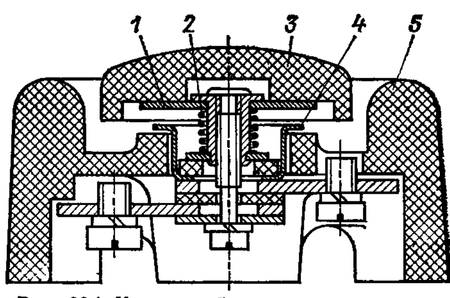


Рис. 224. Кнопочный выключатель звукового сигнала:

1 — латунный диск; 2 — пружина; 3 — кнопка; 4 — чашка; 5 — корпус

Рис. 223. Перекидной переключатель П20:

1 — гайка; 2 — ось рычага; 3 — крышка; 4 — корпус; 5 — фиксирующий шарик; 6 — центральный контакт; 7 — латунная втулка; 8 — боковой контакт; 9 — пружина; 10 — перекидной рычаг

кидные, кнопочные, рычажные с гидравлическим или пневматическим приводами.

Перекидной переключатель, в котором использованы размыкающие контакты, изображен на рис. 223. Такие переключатели предназначены для управления потребителями электроэнергии.

Переключатель имеет корпус *4*, в котором закреплены центральный контакт *6* с выводной клеммой, и два боковых пружинных контакта *8*, соединенных также с выводными клеммами. На корпусе укреплена металлическая крышка *3* с гайкой *1* и рычагом *10*, закрепленным на оси. На конец рычага посажена латунная втулка *7*, являющаяся подвижным контактом. Во втулке размещены пружина *9* и фиксирующий шарик *5*.

Переключатель может находиться в трех положениях: среднее положение — «Выключено», два крайних положения — «Включено».

На рис. 224 показан **кнопочный выключатель,** предназначенный для включения звукового сигнала. Включатель состоит из корпуса *5* и кнопки *3*, изготовленных из пластмассы. В кнопке установлен латунный диск *1*, являющийся подвижным контактом; в корпусе — чашка *4*, являющаяся неподвижным контактом. При нажатии на кнопку латунный диск соединяется с чашкой и замыкает цепь звукового сигнала. Под действием пружины *2* контакты размыкаются.

Защита электропроводов от токов короткого замыкания и перегрузок на автомобилях и тракторах осуществляется с помощью **плавких** (проволочных и ленточных) и **биметаллических** (кнопочных и вибрационных) **предохранителей.**

При выборе предохранителей учитывается их быстродействие и соотношение между номинальным и критическим током. Основ-

ной характеристикой предохранителя является ампер-секундная характеристика, устанавливающая зависимость времени срабатывания предохранителя от тока нагрузки.

Время срабатывания предохранителя при токах нагрузки определяется формулой

$$t_п = \left(A' + \frac{A''}{n}\right) \frac{S^2}{I^2_{к.з}} K_0,$$

где A' и A'' — коэффициенты, для меди $A' = 8 \cdot 10^4$, $A'' = 11{,}6 \cdot 10^3$;

n — коэффициент кратности, $n = 3$;

S — площадь поперечного сечения предохранителя, мм²;

K_0 — коэффициент надежности, $K_0 = 1{,}2 \div 1{,}3$.

Для биметаллических предохранителей, предварительно нагретых при прохождении номинального тока, время срабатывания

$$t_п = T_п \ln \frac{I^2_н - 1}{I^2_н - I^2_{ср}},$$

где $T_п$ — постоянная времени нагрева предохранителя, с;

$I_{ср}$ — ток срабатывания, А.

Постоянная времени нагрева предохранителя

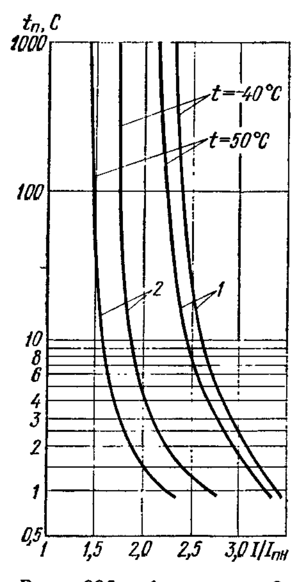


Рис. 225. Ампер-секундная характеристика предохранителей:

1 — ленточного типа ПР112; *2* — проволочного типа ПРКБ

$$T_п = \frac{C\rho bh}{2K(b + h)},$$

где C — теплоемкость предохранителя;

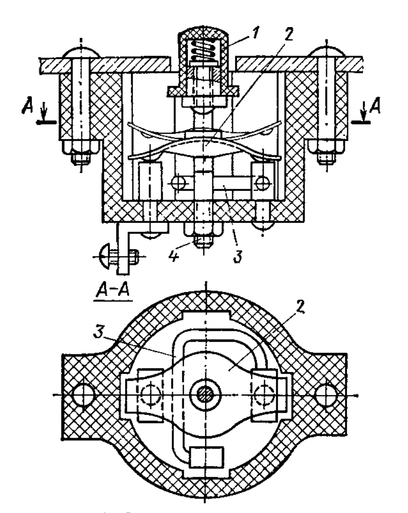
ρ — плотность биметалла;

$b + h$ — геометрические размеры биметаллической пластины;

K — коэффициент теплоотдачи от поверхности биметаллической пластины.

Защита цепи обеспечивается, если ампер-секундная характеристика предохранителя проходит ниже ампер-секундной характеристики провода. Под ампер-секундной характеристикой провода подразумевается зависимость времени нагрева провода до предельной температуры (90° С) от тока короткого замыкания. На рис. 225 приведены ампер-секундные характеристики плавких ленточных и проволочных предохранителей.

Плавкие предохранители обычно размещают в распределительных щитках или отдельных предохранительных коробках. Выполняют их либо в виде стеклянной



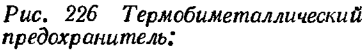


Рис. 226 Термобиметаллический предохранитель:

1 — кнопка; 2 — термобиметаллическая пластина; 3 — нагревательный элемент; 4 — регулировочный винт

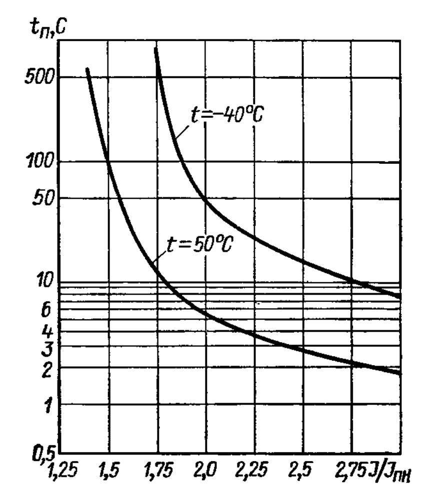


Рис. 227. Ампер-секундная характеристика термобиметаллического кнопочного предохранителя

трубки с установленной внутри нее плавкой проволокой, либо в виде фарфоровой или стеатитовой пластины, в канавках которой уложена плавкая проволока.

Термобиметаллические предохранители можно разделить на предохранители с кнопочным включением и вибрационного типа.

Конструкция термобиметаллического предохранителя с кнопочным включением показана на рис. 226. Он имеет тонкую биметаллическую пластину *2* сферической формы с подвижными контактами. При прохождении тока через биметаллическую пластину, сила которого превышает допустимую величину, пластина изгибается и размыкает контакты (цепь). После размыкания цепи пластина охлаждается, но остается в положении «выключено» до тех пор, пока не будет нажата кнопка *1*. При нажатии на кнопку контакты замыкаются и электрическая цепь восстанавливается.

В термобиметаллическом предохранителе вибрационного типа после охлаждения пластины контакты вновь замыкаются. Ампер-секундные характеристики термобиметаллического предохранителя с кнопочным включением показаны на рис. 227.

§ 38. Звуковые сигналы, стеклоочистители и омыватели

Звуковые сигналы. На автомобилях и тракторах устанавливают звуковые сигналы, предназначенные для обеспечения безопасности движения. Звуковые сигналы в зависимости от назначения делятся

на четыре категории. На мотоциклах устанавливают звуковые сигналы категории *b* и *c*, на автомобилях — категории *d*.

Звуковое давление должно быть в пределах 85—125 дБ. По принципу действия сигналы можно разделить на электрические вибрационные и электропневматические, по характеру звучания их подразделяют на тональные и шумовые, а по роду тока на сигналы постоянного тока и сигналы переменного тока.

Электрический вибрационный звуковой сигнал представляет собой электромагнит, который притягивает укрепленный на мембране якорь. При перемещении мембраны размыкаются контакты прерывателя тока и мембрана выпрямляется, а затем прогибается в противоположном направлении. Контакты прерывателя вновь замыкаются, и процесс повторяется снова. Мембрана совершает колебания, в результате которых в рупоре, служащем резонатором, образуется звук определенного тона.

Тональные звуковые сигналы вибрационного типа обычно представляют собой комплекты из двух и более сигналов, настроенных каждый на определенный тон. Применение звуковых сигналов высокого и низкого тона дает гармонический аккорд приятного звучания (терцию или кварту).

Тональные сигналы, как правило, устанавливают на легковых автомобилях, автобусах большой вместимости и грузовых автомобилях большой грузоподъемности.

Шумовые звуковые сигналы имеют упрощенную конструкцию без рупора и настроены на один музыкальный тон. Их устанавливают на грузовых автомобилях, автобусах небольшой вместимости, тракторах, мотоциклах.

Электропневматический звуковой сигнал представляет собой миниатюрный нагнетатель, подающий воздух в камеру. Из камеры сжатый воздух вырывается в рупор и приводит в колебания мембрану, которая издает музыкальный звук. Нагнетатель приводится в движение электродвигателем постоянного тока. Для получения гармонического аккорда на камере устанавливают два рупора.

Звуковые сигналы этой группы издают приятный мягкий звук. Существенным недостатком электропневматических звуковых сигналов является большая потребляемая мощность (до 100 Вт) и высокая стоимость. Эти сигналы применяются очень редко.

Наиболее широко распространены электрические вибрационные звуковые сигналы, обладающие хорошим звучанием, потребляющие сравнительно малую мощность (40—60 Вт) и имеющие небольшую стоимость.

Конструкция электрического тонального звукового сигнала приведена на рис. 228. Сигнал имеет стальное основание *1*, на котором установлен электромагнит. Электромагнит состоит из ярма *3*, обмотки возбуждения *2* и якоря *8*. Якорь соединен с толкателем *7* и мембраной *9*. Мембрана закреплена шестью болтами между основанием *1* и раструбом *10*. На основании установлены стойки для крепления планок с контактами *6*. Электромагнитная система сиг-

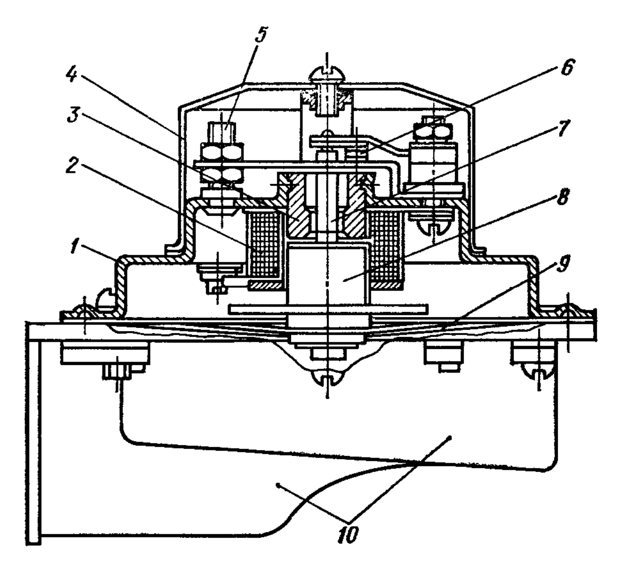


Рис. 228. Тональный сигнал:

1 — основание; *2* — обмотка возбуждения; *3* — ярмо; *4* — крышка; *5* — винт *6* — контакты; *7* — толкатель; *8* — якорь; *9* — мембрана; *10* — раструб

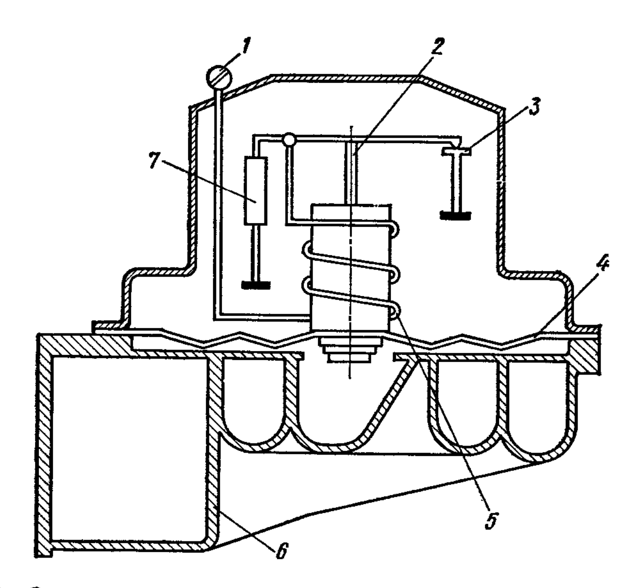


Рис. 229. Электрическая схема тонального сигнала:

1 — вывод катушки электромагнита; *2* — толкатель; *3* — контакты; *4* — мембрана; *5* — обмотка катушки; *6* — раструб; *7* — искрогасящее сопротивление

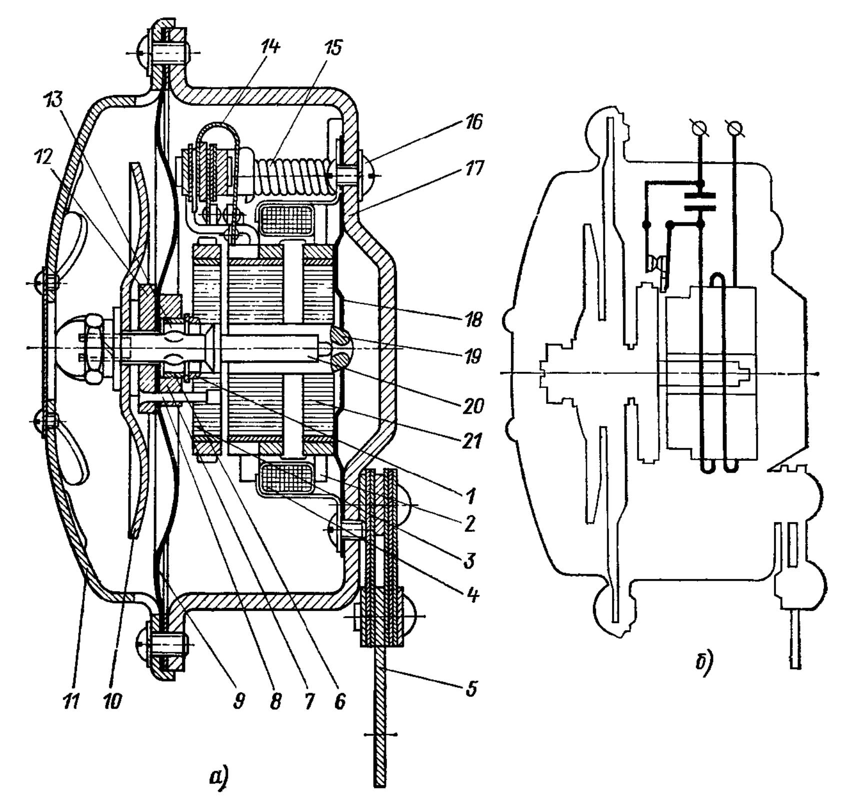


Рис. 230. Шумовой сигнал:

а — конструкция; *б* — электрическая схема; *1* — шарнирная втулка; *2* — конденсатор; *3* — якорь; *4* — катушка; *5* — рессорная подвеска; *6* — втулка; *7* — гайка; *8* — палец зажимной шайбы; *9* — мембрана; *10* — резонатор; *11* — крышка; *12* — зажимная шайба; *13* — шпоночный выступ; *14* — пружина прерывателя; *15* — регулировочная пружина; *16* — регулировочный винт; *17* — корпус; *18* — центрирующая пружина; *19* — упор стержня; *20* — стержень; *21* — сердечник

нала закрыта стальной крышкой *4*, привернутой к ее держателю.

Резонирующий раструб стальной улиточного типа. Такая конструкция рупора обеспечивает хорошую передачу звуковых сигналов в окружающую среду.

Электрическая схема тонального сигнала приведена на рис. 229. Схема питания однопроводная, при этом один контакт прерывателя и вывод искрогасящего сопротивления присоединены к основанию звукового сигнала (массе).

Обмотка возбуждения электромагнита сигнала обычно низкоомная, поэтому при включении сигнала потребляется большой ток (15—25 А). Для уменьшения силы тока разрываемого кнопочным выключателем, установленным на рулевом колесе, применяют

промежуточное реле. Кнопочный выключатель в этом случае включается в обмотку управления промежуточного реле. Сила тока, протекающего по ней, не превышает 0,5 А.

Конструкция шумового сигнала постоянного тока показана на рис. 230. Шумовой сигнал не имеет рупора. На дне чашеобразного стального корпуса *17* сигнала закреплены электромагнит и прерыватель. Электромагнит имеет ярмо, сердечник *21*, катушку *4* и якорь *3*. На якоре закреплены мембрана *9* и резонатор *10*. Мембрана также прикреплена к корпусу шестью винтами. Сигнал закрывают крышкой *11*.

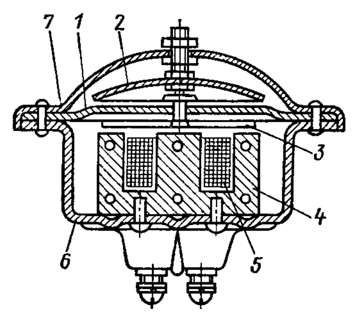


Рис. 231. Сигнал переменного тока:

1 — мембрана; *2* — резонатор; *3* — якорь; *4* — сердечник; *5* — катушка электромагнита; *6* — корпус; *7* — крышка

Электрическая схема включения шумового сигнала приведена на рис. 230, *б*. Схема питания шумового сигнала двухпроводная, контакты прерывателя шунтированы конденсатором или искрогасящим сопротивлением.

Звуковой сигнал переменного тока относится к шумовым и представляет собой (рис. 231) электромагнит, закрепленный в чашеобразном алюминиевом корпусе *6*. К отбортованному краю корпуса прикреплены крышка *7* и мембрана. В сигнале нет прерывателя.

Сигналы переменного тока питаются от генератора переменного тока во время работы машины. Следовательно, частота переменного тока будет изменяться с изменением частоты вращения двигателя. При этом частота вращения якоря в два раза больше частоты переменного тока. Штифт колеблющейся мембраны будет ударяться о штифт резонатора *2*, который жестко связан с крышкой *7* сигнала. После удара резонатор начинает колебаться с постоянной собственной частотой. Частота собственных колебаний подобрана так, чтобы получить благоприятный тембр звука.

Испытания сигнала на транспортном средстве производят на расстоянии 7 м от микрофона на открытом участке с гладким грунтом и включенным двигателем. Максимальное звуковое давление определяют на высоте 0,5—1,5 м, оно должно быть не менее 82—95 дБ.

Стеклоочистители и омыватели. Для очистки лобового стекла автомобиля или трактора от атмосферных осадков (капель дождя, снега, грязи) применяют стеклоочистители и омыватели.

К стеклоочистителям предъявляют специфические требования. При работе стеклоочистителей необходимо, чтобы щетки перемещались по стеклу плавно, без скачков с определенным углом размаха β и усилием прижима к стеклу. Щетки стеклоочистителей с прессованной резиновой лентой должны очищать смоченное водой стекло за один двойной ход, обеспечивая удовлетворительную ви-

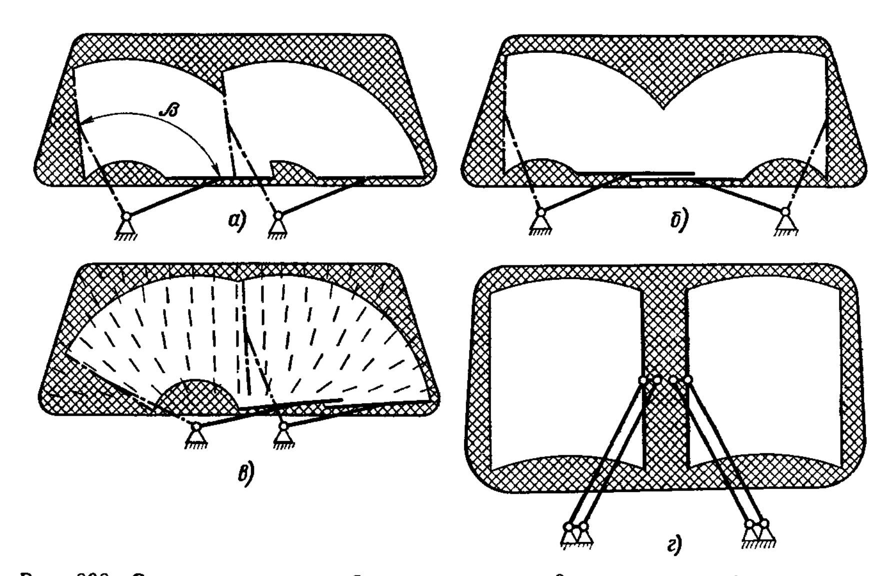


Рис. 232. Секторы очистки лобового стекла при движении щеток:

а — параллельном; *б* — встречном; *в* — поперечном с разными углами поворота щеток; *г* — посредством пантографа

димость. Допускаются невытертые полосы по краям сектора очистки, общая ширина которых не должна превышать 10% длины щетки. Оси рычагов стеклоочистителей должны быть защищены от попадания влаги.

Основными элементами стеклоочистителя являются два рычага, совершающие качательные движения. На рычагах укреплены резиновые щетки, которые вытирают лобовое стекло. Площадь очистки лобового стекла зависит от характера движения щеток и их расположения (рис. 232).

В зависимости от характера движения щеток различают стеклоочистители с параллельным и встречным движением щеток. Разновидностью щеток с встречным движением являются щетки с пантографом (рис. 232, *г*).

По типу привода стеклоочистители можно разделить на механические и электрические.

Стеклоочистители с механическим приводом представляют собой червячный редуктор, приводимый во вращение от двигателя посредством гибкого вала. Частота перемещения щеток стеклоочистителя пропорциональна частоте вращения двигателя.

Зависимость частоты перемещения щеток от режима работы двигателя — существенный недостаток механических стеклоочистителей. Поэтому в последние годы все чаще применяют электрические стеклоочистители. Электрический стеклоочиститель состоит из привода, кривошипного механизма и щеток с рычагами. Привод

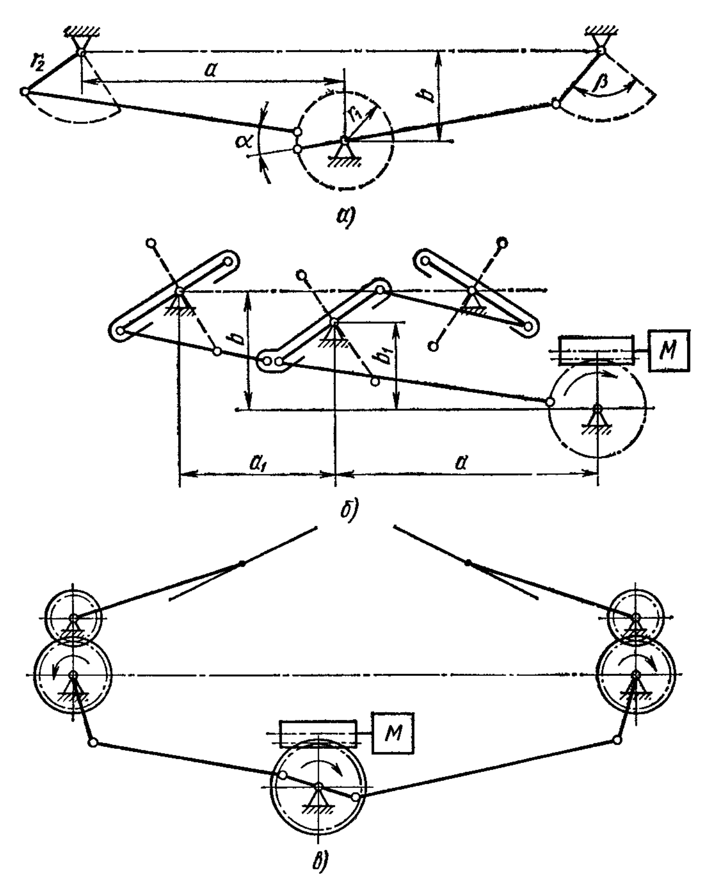


Рис. 233. Кинематические схемы кривошипных механизмов для движения щеток:

a — одностороннего параллельного; $б$, $в$ — встречного; a, a_1, b, b_1 — размеры, определяющие положение штуцеров и оси привода; r_1, r_2 — радиусы кривошипов; α — угол между телами; β — угол сектора

включает электродвигатель постоянного тока и червячный редуктор, которые соединены в одном корпусе.

Кривошипный механизм предназначен для преобразования вращательного движения зубчатого колеса червячного редуктора в качательное движение рычагов и щеток. Кинематическая схема кривошипного механизма зависит от характера движения щеток и конструкции механизма. На рис. 233 приведены кинематические схемы кривошипных механизмов, обеспечивающие параллельное и встречное движения щеток. Сравнивая эти схемы, можно заключить, что устройство кривошипного механизма для одностороннего движения щеток проще.

Применение на современных автомобилях гнутых передних стекол усложняет работу стеклоочистителя. Это связано с тем,

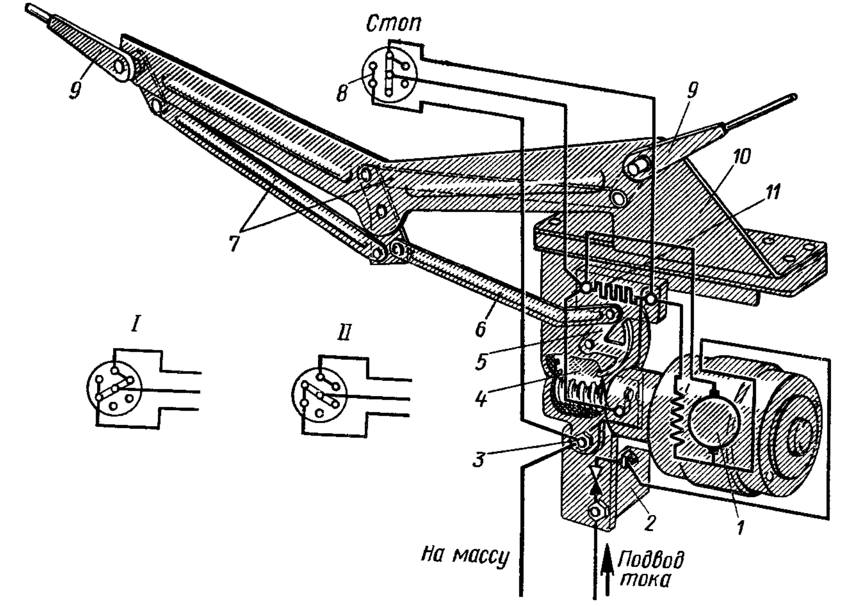


Рис. 234. Конструкция стеклоочистителя:

I — малая скорость; *II* — большая скорость; *1* — электродвигатель; *2* — биметаллический предохранитель; *3* — зажим; *4* — червячный редуктор; *5* — кривошип; *6*, *7* — рычаги; *8* — выключатель; *9* — рычаг щеток; *10* — основание; *11* — дополнительное сопротивление

что трудно обеспечить плотное прилегание щетки к поверхности такого стекла. Для обеспечения прилегания щетки по всей длине их выполняют гибкими и увеличивают усилие пружин, прижимающих щетки.

Гибкость щеток достигается увеличением числа коромысел держателя щетки и использованием рационального профиля щетки.

Конструкция электрического стеклоочистителя легкового автомобиля приведена на рис. 234. К основанию *10* прикреплен электродвигатель *1* с червячным редуктором *4*. На червячном колесе закреплен кривошип *5*, который соединен с рычагом *6*. Он связан с рычагом *7*, с помощью которого движение передается через рычаги *9* к щеткам. Щетки совершают качательное движение и протирают стекло.

Работой стеклоочистителя управляют с помощью выключателя, который имеет три положения. Электрическая схема стеклоочистителя показана на рис. 235. Если выключатель находится в положении «Стоп» (положение *2*), то стеклоочиститель отключен. При переключении выключателя в положение «Малая скорость» (положение *3*) электродвигатель через термобиметаллическое реле *ТБР* подключается к источнику питания. В положении «Большая скорость» (положение *1*) к обмотке возбуждения *ОВ* подключается до-

полнительное сопротивление R. При этом уменьшается поток возбуждения и увеличивается частота вращения электродвигателя.

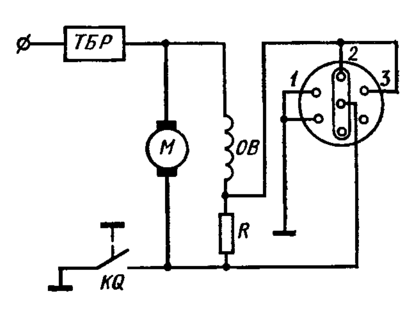


Рис. 235. Электрическая схема стеклоочистителя

Укладка щеток в исходное положение осуществляется с помощью концевого выключателя KQ. При выключении выключателя двигатель не останавливается, и щетки продолжают двигаться, пока не займут исходное положение. После этого электродвигатель автоматически выключается концевым выключателем. Термобиметаллическое реле *ТБР* служит для защиты от токовых перегрузок.

На современных автомобилях в дополнение к стеклоочистителю устанавливают омыватели переднего стекла. Омыватель смачивает загрязненное стекло и облегчает удаление с него грязи. Стеклоочиститель вместе с омывателем обеспечивают очистку стекла без остановок автомобиля в любых условиях эксплуатации.

Стеклоомыватель состоит из резервуара для жидкости, насоса и жиклеров, связанных между собой резиновыми шлангами. Резервуар устанавливают в кабине водителя или под капотом двигателя. Сетчатый фильтр предотвращает засорение жиклеров. Объем резервуара обеспечивает многократное пользование омывателем. Насос обычно используют диафрагменный. Привод в зависимости от места установки насоса может быть педальным, ручным или вакуумным. Жиклер, находящийся в головке, формирует струю жидкости и направляет ее на стекло в рабочий сектор щетки стеклоочистителя. Головка для жиклера установлена перед стеклом на кузове или капоте машины.

Основными параметрами, характеризующими омыватель, являются время действия струи, количество жидкости, выбрасываемой за одно нажатие, и напор струи. В качестве рабочей жидкости для омывателя обычно применяют воду. В зимнее время к ней добавляют спирт или соль, понижающие температуру замерзания.

Для предупреждения замерзания переднего стекла используют обогреватели и отопители кузова. Электрические обогреватели представляют собой рамку определенных размеров, закрытую стеклом. Между стеклом и рамкой натянуты две-три нити из нихромовой проволоки, которые служат нагревательными элементами. Степень нагрева можно регулировать в зависимости от температуры окружающего воздуха. Мощность, потребляемая обогревателями, 30—50 Вт.

Большинство современных автомобилей и тракторов имеют систему отопления кузова, содержащую отопительный радиатор, вентилятор и распределительное устройство. Часть воздуха, нагре-

того отопителем, поступает в канал под лобовым стеклом и, пройдя через прорезанные в канале щели, направляется на стекло. Количество нагретого воздуха, поступающего в кузов, обычно регулируется.

§ 39. *Помехи и помехоподавительные устройства*

Электрооборудование автомобилей и тракторов является источником помех радио- и телеприема. Учитывая, что автомобиль и трактор совершают движение, их помехи могут нарушить нормальную работу приемников и телевизоров.

Все помехи, создаваемые различными элементами электрооборудования представляют собой электромагнитные колебания. Их распространение подчиняется тем же физическим законам, что и распространение электромагнитных волн. Энергия электромагнитного поля излучается при изменении тока в контуре электрической цепи. Чем больше амплитуда и частота изменения тока, тем интенсивнее излучение.

Излучаемая энергия при одной и той же частоте и амплитуде тока в контуре зависит от элементов и конфигурации контура.

Контур с сосредоточенными параметрами, состоящий из конденсатора и катушки индуктивности, будет излучать электромагнитную энергию слабо, так как электрическое поле сосредоточено в основном в конденсаторе, а магнитное поле в катушке индуктивности. В этом случае электромагнитное поле создается наложением полей рассеяния конденсатора и катушки, а они малы.

Контур с распределенными параметрами будет излучать энергию значительно сильнее, так как его магнитное и электрическое поля распределены в одной и той же части пространства и образуют электромагнитное поле. Поэтому все антенны представляют собой контуры с распределенными параметрами. К контурам с распределенными параметрами относятся и пространства, где происходит искровой разряд.

Наиболее широкий спектр частот излучения возникает при импульсах тока и напряжения прямоугольной формы.

Источниками помех в системе электрооборудования автомобилей и тракторов является высоковольтная часть системы зажигания, прерыватель, генератор постоянного тока (щеточно-коллекторный узел), регулятор напряжения, стартер, различного рода выключатели и переключатели и т. п. Кроме того, на изолированных металлических частях машины при ее движении образуются электростатические заряды (от трения), приводящие к излучению электромагнитных волн различной длины.

Следует отметить, что не вся энергия источника помех излучается в окружающее пространство. Часть ее поглощается источником, превращаясь в тепло. Чем больше распределенное активное сопротивление источника помех, тем больше и поглощение этой энергии источником.

Наибольшее излучение электромагнитных волн имеют провода, длина которых $l = (0,25 \div 0,5)\ \lambda$, где λ — длина волны.

В связи с широким развитием радиовещания и телевидения, с радиофикацией автомобилей вопрос о снижении помех приобрел определенную остроту в последнее время. В нашей стране разработаны нормы индустриальных радиопомех.

Для снижения уровня помех, создаваемых электрооборудованием, возможно два принципиально различных пути.

Первый путь состоит в применении подавительных сопротивлений большой величины, включаемых последовательно в цепь, или блокировочных конденсаторов, подсоединяемых параллельно искрящим контактам. Подавительные сопротивления и блокировочные конденсаторы изменяют параметры колебательных контуров и уменьшают излучаемые помехи. Часть энергии превращается в тепло.

Второй путь связан с экранированием отдельных систем и элементов (заключение всех токоведущих частей и изолирующих частей схемы в металлическую оплетку или кожух). В этом случае излучаемые электромагнитные волны индуктируют вихревые токи в металлическом экране и излучаемая энергия преобразуется в тепло (нагревание экрана).

Экранирующее действие возрастает с увеличением толщины стенки экрана, удельной проводимости и магнитной проницаемости экрана. При высоких частотах излучения экран обычно изготовляют из хорошо проводящего материала (меди, алюминия), при низких частотах — из ферромагнитного материала.

Теоретически толщина стенки экрана должна быть примерно равна длине излучаемых волн. Практически толщина стенки экрана меньше длины волны, так как для технических целей необходима определенная степень ослабления помех.

Качество экранирования характеризуют коэффициентом экранирования, равным отношению напряженности магнитного поля в защищенной экраном области к напряженности первоначального поля. Чем сильнее экранирующее действие, тем меньше коэффициент экранирования.

Степень подавления помех определяется назначением и особенностями транспортного средства. Так, на автомобилях, оборудованных широковещательными радиоприемниками, достаточна система подавления, обеспечивающая уровень поля помех на расстоянии 10 м от автомобиля не более 10 мкВ в диапазоне частот до 20 МГц и 100 мкВ в диапазоне частот до 400 МГц.

В этом случае применяют подавительные сопротивления, включаемые в провода, соединяющие высоковольтную часть системы зажигания, и блокировочные конденсаторы емкостью 0,25—0,5 мкФ, шунтирующие коммутирующие устройства. В последнее время вместо сопротивлений используют специальные провода высокого напряжения с распределенным сопротивлением 15—40 кОм (например, провод марки ПВВО).

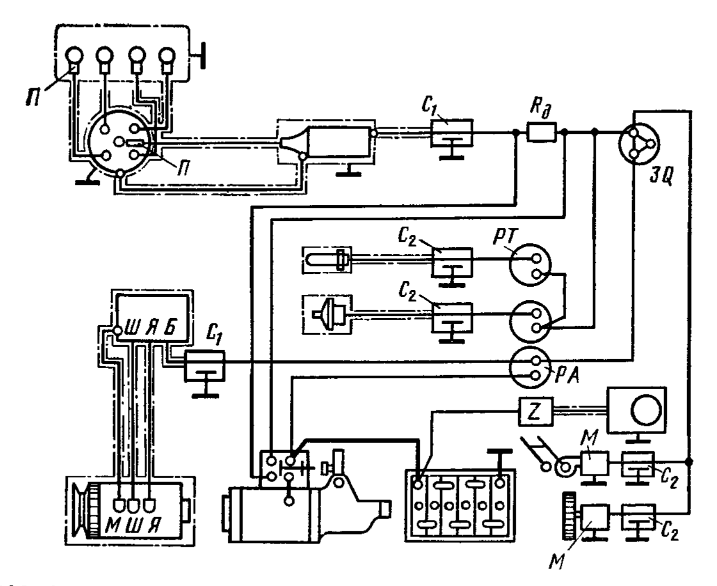


Рис. 236. Экранированная схема системы электрооборудования автомобиля с высокочувствительной радиоаппаратурой

На специальных автомобилях, оборудованных высокочувствительной аппаратурой для связи и измерений, необходима система подавления, обеспечивающая уровень помех на расстоянии 1 м от автомобиля не выше 2 мкВ в диапазоне частот 0,15—400 МГц. Чтобы обеспечить такой низкий уровень помех, необходимо полное экранирование системы электрооборудования и использование фильтров. В такой системе полностью экранируются система зажигания, система электропитания и импульсные датчики приборов контроля. Экранированные части должны иметь между собой и с массой хороший электрический контакт. Кроме того, ставят подавительные сопротивления и проходные конденсаторы в первичной цепи зажигания, цепи реле—регулятор—батарея, в цепях импульсных датчиков и электродвигателей.

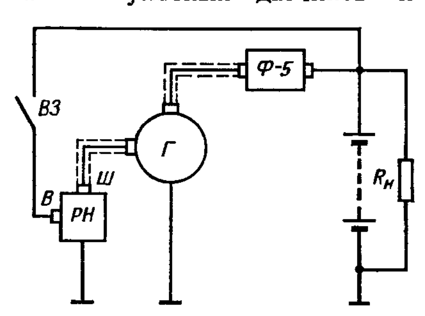


Рис. 237. Схема подавления помех

Экранированная схема электрооборудования автомобиля с высокочувствительной радиоаппаратурой приведена на рис. 236. В этой схеме применены подавительные сопротивления *П* 15 кОм и проходные конденсаторы емкостью $C_1 = 1 \div 2$ мкФ и $C_2 = 0{,}25 \div 1$ мкФ. В цепи питания радиоаппаратуры используются фильтр и экранированные провода.

При применении генераторов переменного тока с полупроводниковыми выпрямителями, полупроводниковых регуляторов напряжения, электронных систем зажигания уровень помех снижается. Так, например, генератор переменного тока с вибрационным регулятором напряжения создает уровень поля 320 мкВ, а с бесконтактным транзисторным регулятором напряжения 8 мкВ. В отличие от генераторов постоянного тока генераторы переменного тока создают незначительный уровень помех, близкий к требованиям отечественных норм индустриальных помех. Максимум помех для генераторов переменного тока находится в низкочастотном диапазоне (0,15—5 МГц).

Простейшим средством подавления радиопомех на генераторах переменного тока является подключение блокировочного конденсатора между клеммой + и массой генератора. Для перспективных генераторных установок переменного тока повышенной мощности разработаны схемы подавления помех путем применения П-образного фильтра Ф-1 или Ф-5 и экранирования проводов, идущих от генератора к фильтру и реле-регулятору. Блок-схема такой системы подавления помех приведена на рис. 237.

Применение такой схемы подавления помех на автомобилях КрАЗ и ЗИЛ показало, что уровень поля в диапазоне частот 0,1 — 400 МГц не превышает 8 мкВ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Барабанов В. Е., Василевскнй В. И., Левин С. М.** Электрооборудование тракторов и автомобилей. М., «Колос», 1974.
2. **Боровских Ю. И.** Электрооборудование автомобилей. М., «Транспорт», 1971.
3. **Боровских Ю. И., Мельников А. Ф., Прудников И. П.** «Автомобильные контрольно-измерительиые приборы. М., «Транспорт», 1976.
4. **Василевский В. И., Купеев Ю. А.** Автомобильные генераторы. М., «Транспорт», 1971.
5. **Галкии Ю. М.** Электрооборудование аитомобилей и тракторов. М., «Машиностроение», 1967.
6. **Глезер Г. Н., Опарин И. М.** Автомобильные электронные системы зажигания автомобилей. М., «Машиностроение», 1977.
7. **Дьяков А. Б.** Автомобильная светотехника и безопасность движення. М., «Транспорт», 1973.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ИБ № 1291

Лидия Васильевна Копылова, Виктор Иванович Коротков, Валерий Евгеньевич Красильников и др.

ТЕОРИЯ, КОНСТРУКЦИЯ И РАСЧЕТ АВТОТРАКТОРНОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Редактор *Г. Т. Пирогова*
Технический редактор *Л. А. Макарова*
Корректор *А. А. Снастина*
Переплет художника *Л. С. Вендрова*

Сдано в набор 25.10.78.
Подписано в печать 08.02.79. Т-01149
Формат 60×90¹/₁₆.
Бумага типографская № 2
Гарнитура литературная. Печать высокая
Усл. печ. л. 21,5. Уч.-изд. л. 23,0
Тираж 30 000 экз. Заказ 1150. Цена 1 р.

Издательство «Машиностроение», 107885, Москва, ГСП-6, 1-й Басманный пер., 3

Ленинградская типография № 6 Ленинградского производственного объединения «Техническая книга» Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 193144, г. Ленинград, С-144, ул. Моисеенко, 10.